

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Multiparametrická diagnostika
obráběcího centra**

**Multiparametric Diagnostics of the
Machining center**

Student:

Bc. Ladislav Chalánek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ladislav Chalánek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Multiparametrická diagnostika obráběcího centra**
Multiparametric Diagnostics of the Machining Center
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Technická diagnostika obráběcích strojů je vzhledem ke specifickým vlastnostem těchto zařízení velmi problematická a náročná. Mezi tyto specifické odlišnosti lze považovat např. vysoké otáčky, velké nároky na přesnost a nízké vibrace. V rámci této diplomové práce se zabývejte touto problematikou, proberte možnosti a úskalí aplikace technické diagnostiky na tyto zařízení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te potřebná měření.
5. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.
Rozsah práce min. 45 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání - Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16 s.

Interní podkladové materiály

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5.2019

Podpis studenta.....

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15.5.2019



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Ladislav Chalánek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Troubky 751 02, U Dvora 722

Anotace diplomové práce

CHALÁNEK.L, *Multiparametrická diagnostika obráběcího centra: Diplomová práce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2019, -- 66 s. Vedoucí práce: BLATA, J

Předkládaná diplomová práce seznamuje čtenáře se základními metodami diagnostiky obráběcích strojů. V práci čtenář nalezne přehled používaných metod diagnostiky, které jsou aplikovány na obráběcí frézovací centrum. Součástí práce je jednak teoretický rozbor problematiky, tak příklady praktického měření a vyhodnocování. Práce je doprovázena celou řadou obrázků z praktického měření ve firmě s jejíž spoluprací tato práce vznikala. V závěrečné fázi práce je popsáno doporučení pro budoucí provoz a také návod na reengineering údržby v pohledu vztaženému k diagnostice.

Klíčová slova: Obráběcí stroj, multiparametrická diagnostika, reengineering

Annotation of masters thesis

CHALÁNEK.L, *Multiparametric Diagnostics of the Machining center: Diploma thesis*, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,, Department of production machindes and design, 2019, 66 p. Thesis head: BLATA, J

The current thesis acquaints the reader with machine tool basic diagnostic methods. In this study the reader finds an overview of frequently used diagnostic methods that are applied in machine milling centers. The paper is composed of a theoretical analysis of the problematics, and examples of practical measurements and evaluation. The thesis is accompanied by a number of images from practical measurements taken by the company collaborating on this thesis. In the final part of the work, recommendations of future use are described, and also instructions for re-engineering maintenance from a diagnostic view.

Key words: Machine tool, multiparametric diagnostics, reengineering

Obsah

Seznam použitých veličin a zkratk.....	9
Úvod.....	10
1 Meopta optika s.r.o.	11
2 CNC frézka	12
3 Metody technické diagnostiky pro obráběcí stroje	13
3.1 Vibrodiagnostika	14
3.1.1 Budící síly a rozdělení vibračního signálu.....	14
3.1.2 Snímače vibrací.....	15
3.2 Tribodiagnostika	17
3.2.1 Číslo celkové kyselosti TAN	18
3.2.2 Obsah vody	19
3.2.3 Spektrální analýza FT-IR.....	21
3.2.4 Rentgenová spektrometrie	22
3.3 Termodiagnostika.....	23
3.3.1 Kontaktní měření teploty	24
3.3.2 Bezkontaktní měření teploty	25
3.4 Měření kruhovitosti – Ballbar	25
4 Obráběcí stroj Chiron Mill 800.....	27
5 Diagnostická měření	29
5.1 Tribodiagnostika	29
5.1.1 Hydraulický olej Paramo HM 46.....	30
5.1.2 Vyhodnocení měření 25.10. 2018.....	30
5.1.3 Vyhodnocení měření 18.12. 2018.....	33
5.1.4 Vyhodnocení měření 1.3 2019.....	36
5.2 Vibrodiagnostika	38
5.2.1 Adash A4400-VA4 Pro.....	38
5.2.2 Mezní hodnoty pro hodnocení vibrací obráběcích strojů	39
5.2.3 Vyhodnocení měření 25.10.2018.....	40
5.2.4 Vyhodnocení měření 1.3 2019	43
5.3 Termodiagnostika.....	47
5.3.1 Termokamera Fluke Ti32	47
5.3.2 Vyhodnocení měření 25.10.2018.....	48
5.3.3 Vyhodnocení měření 1.3 2019.....	50
5.4 Diagnostika Ballbar.....	52
5.4.1 Vyhodnocení měření Ballbar 25.10 2018	52

5.4.2	Vyhodnocení měření Ballbar 1.3 2019	54
6	Zhodnocení údržby a doporučení pro budoucí provoz	55
6.1	Pracovní pozice Tribodiagnostik.....	56
6.1.1	Metodický postup odběru vzorků hydraulického oleje.....	57
6.2	Návrh budoucí strojní diagnostiky ve firmě Meopta	58
7	Závěr	60
8	Zdroje.....	61
9	Přílohy.....	63
9.1	Příloha č.1 Protokol o měření hydraulického oleje	63
9.2	Příloha č.2 Protokol o měření hydraulického oleje	64
9.3	Příloha č.3 Protokol o měření hydraulického oleje	65
9.4	Příloha č.4 Technický list oleje HM 46 Paramo	66

Seznam použitých veličin a zkratek

Bod tekutosti	[°C]
Celkové číslo kyselosti	[mgKOH.g ⁻¹]
Kinematická viskozita	[mm ² .s ⁻¹]
Obsah vody v mazivu	[hm. %]
Mechanické nečistoty	[mg.100 cm ⁻³]
Mikrometr	[μm]
Milimetr	[mm]
Sekunda	[s]
PPM (parts per milion)	[mg.kg ⁻¹]
Rychloposuv suportu stroje	[m.min ⁻¹]
Rychlost vibrací	[mm.s ⁻¹]
Zrychlení vibrací	[g]
CNC	Computer numeric control
TAN	Total Acid Number

Úvod

Každý moderní podnik, který má svůj koncept založený na strojní výrobě, potřebuje své stroje udržovat ve vynikajícím technickém stavu. Základním pravidlem udržitelnosti vysoké efektivity a životnosti jednotlivých strojů, anebo strojních součástí je pravidelná péče ze strany zaměstnanců výroby a údržby. Další pomůckou je diagnostická kontrola. V rámci pravidelné kontroly si údržba může vybrat jednu z metod technické diagnostiky, anebo využít kombinaci více metod, a tím pádem se bavíme o multiparametrické diagnostice. Základní rozdělení technické diagnostiky je na diagnostiku bezdemontážní a nedestruktivní. V této diplomové práci jsou prakticky využity pouze metody bezdemontážní technické diagnostiky.

Důvodů, proč využívat služeb strojní diagnostiky, je několik. Na prvním místě je ekonomické hledisko. Nikdo nechce zbytečně platit vysoké úhrady za opravy poruch strojů. Proto je lepší pravidelná kontrola diagnostikem, který je schopen odhalit vznikající poruchu v počátku vzniku. Dalším důvodem je pracovní efektivita, kterou je myšleno moderní řízení údržby. Diagnostikem odhalená vznikající závada je nahlášena manažerovi údržby a ten v kombinaci s vedoucím výroby dokáže naplánovat odstávku stroje. Závěrem je tedy možné říci, že strojní diagnostika je základním nástrojem pro zvýšení životnosti, efektivity, do jisté míry i bezpečnosti a samozřejmě snížení ekonomických nákladů na údržbu strojů.

Tato diplomová práce bude vytvářena ve spolupráci s firmou Meopta – optika. V předkládané práci je pozornost věnována problematice určování technického stavu obráběcího centra. Jsou zde popsány metody, které objektivně posoudí technický stav strojních součástí. Následně je provedeno praktické měření a vyhodnocení. V závěrečném vyhodnocení bude navrženo i několik návrhů na zvýšení úrovně diagnostiky.

1 Meopta optika s.r.o.

Firma je nadnárodní společností zabývající se výzkumem, vývojem, konstrukční činností optických i mechanických součástí a jejich následnou montáží. V dnešní době můžeme říct, že Meopta je specialistou na optické produkty pro průmyslový, vojenský a obecný spotřební trh. Firma má hlavní výrobu a sídlo v České republice a druhotné sídlo je ve Spojených státech amerických. Díky vysoké úrovni v oblasti vývoje, konstrukce, výroby a přesného měření s optickými elementy se firma prosazuje v mnoha odvětvích, příkladem mohou být přesné zdravotnické či vědecké přístroje, digitální filmová projekce, průzkum vesmíru, spotřební sportovní optika a vojenské zbraňové systémy. Na obrázku č.1 jsou vyobrazeny produkty, a na obrázku č.2 je logo firmy. [1]



Obr.1 Výrobky firmy Meopta [2] [3]



Obr. 2 Logo Meopta [4]

2 CNC frézka

Frézovací stroje patří mezi nejpoužívanější zařízení pro obrábění. CNC frézka se řadí do skupiny nejvýkonnější obráběcích strojů. Číslicově řízený stroj, CNC (Computer Numerical Control), je plně automatizované zařízení. Činnost stroje zajišťuje počítač, který řídí pohyb nástroje nebo obrobku. V rámci obráběcích strojů hovoříme o řízení procesu obrábění i doplňkových funkcí, a to na základě číselných údajů a příkazů v programovatelném systému stroje. [13]

Frézky jsou určeny pro obrábění rovinných ploch, rovných či zakřivených drážek, zubů, ozubených kol anebo závitů. Nutno zdůraznit, že v dnešní době, kdy je celosvětový trend pro co nejrychlejší, flexibilní a přesnou výrobu, se do popředí dostávají frézovací obráběcí centra. Tato centra jsou plně automatizovaná a zastávají funkce samostatné výměny nástrojů, obrobků, čímž snižují výrobní časy a prostoje. Navíc tyto frézovací centra mohou provádět různé druhy technologických operací a mají možnost víceosého vysokorychlostního obrábění. Hlavní výhodou je, že stroj má schopnost obrobit materiál v podstatě na jedno upnutí. [13]

Pro většinu případů obrábění používáme vícebřítý nástroj, který se jmenuje fréza. Materiály zubů frézy bývají převážně slinuté karbidy. [13]

Princip obrábění je založen na postupném vnikání jednotlivých zubů rotujícího nástroje do obrobku, který je upnut na pracovním stole frézky. Upnutí bývá nejčastěji do svěráku, ale může být využito i sklíčidlo. Podle polohy nástroje vůči obrobku rozdělujeme frézování na obvodové a čelní, následně pak frézování protisměrné a souměrné. [13]

Frézovací stroje se dělí do tří základních skupin:

- konzolové (svislá osa vřetene, vodorovná osa vřetene, univerzální)
- stolové ložové (svislá osa vřetene, vodorovná osa vřetene, univerzální)
- portálové (spodní gántry, horní gántry, s pohyblivým stolem)

3 Metody technické diagnostiky pro obráběcí stroje

Aplikace strojní diagnostika na obráběcích strojích je důležitý prvek, který dokáže prodloužit životnost, efektivitu výrobního stroje, a navíc udržovat výrobní přesnost. Cesta k docílení toho stavu začíná u těchto úkonů - pravidelná prohlídka, diagnostické měření, vyhodnocování a údržba. Diagnostik by měl mít na paměti, že při provádění kontrolního měření stroje je výhodné používat více metod technické diagnostiky, protože pouze jedna nemusí odhalit skutečný technický stav sledovaného objektu. Jako nejvýhodnější způsob aplikace multiparametrické diagnostiky, která má objektivně zjistit technický stav CNC frézky, se jeví kombinace čtyř druhů metod.

Vibrodiagnostika je využita při zjišťování, v jakém stavu se nachází pracovní vřeteno stroje a převážně ložiska. Vřetenová ložiska bývají z velké části s kovovými valivými elementy, ale mohou být využity i keramické materiály.

Další metoda je **měření kruhovitosti**. Velice významná metoda, která je využita pro zjištění technické stavu pracovního stolu. Konkrétně tedy kuličkové šrouby, ložiska, vedení supportu apod. Význam spočívá v tom, že přesnost pracovního stoje je přímo úměrná přesnosti obrábění, takže jakékoliv poškození se projeví na obrobené ploše.

Tribodiagnostika se oproti předešlým metodám využívá o něco méně. Ne vždy je nutností, aby CNC frézka měla hydraulický systém. V některých případech je substituována pneumatickým systémem nebo plastickým mazivem s centrálním rozvodem. V případě, že hydraulika je součástí stroje, tak je nutno dbát na čistotu maziva, protože moderní hydraulické systémy jsou velice přesné a citlivé zařízení a čistota maziva musí být proto na prvním místě. Jakékoliv větší nečistoty mohou nevratně poškodit celý systém. Extrémně citlivé jsou rozváděče, ventily či motory. Problémem je i obsah vody, který zapříčiňuje pění oleje. Dále vysoká kyselost oleje, což má za následek vznik koroze, chemické rozleptávání použitých materiálů a další. Práce tribodiagnostika je komplexní řešení všeho okolo maziv, a ne pouze rozborů a vyhodnocení či trendování. Náplň práce tribodiagnostika či tribologa by měla zahrnovat i výběr správného maziva, učinit taková doporučení, aby čistota maziva během doplňování byla co nejvyšší, tvorba mazacích / domazávacích plánů, ekologická likvidace maziv a další.

Termodiagnostiku využijeme převážně pro kontrolu elektrorozvodů, dávkovačů plastického maziva, kontrolu vřetene / motoru. A další místa se zvýšenou citlivostí na změnu teploty.

3.1 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostická měření jsou jednou z nejpoužívanějších diagnostických disciplín v rámci prediktivní údržby. Každý pracující stroj budí svou činností vibrace, které je možno sledovat jako vibrační signál. Úkolem je tedy zaznamenat tento signál, analyzovat a vyhodnotit. Celková velikost vibračního signálu, respektive jeho intenzita je dána **typem stroje, aktuálním technickým stavem a pracovními podmínkami**. [5] [6]

Více informací je možné získat v normách, které se věnují vibracím, a to ČSN ISO 10816-3, ČSN ISO 13373-1 a ČSN ISO 20816-1.

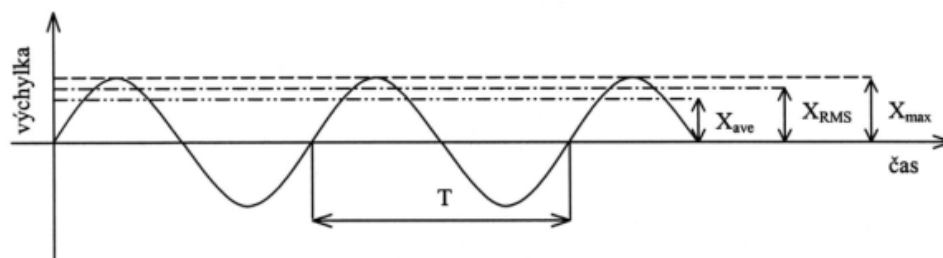
Pracovní podmínky dokáží výrazně ovlivnit životnost strojních součástí. Jako příklad je uveden konkrétní a často se vyskytující případ přetěžování obráběcího stroje. Vlivem snahy zrychlit čas výroby obrobku, dojde k navýšení rychlosti pracovního posuvu, který je v rozporu s technologickým plánem obrábění. Tento krok však zvyšuje vibrace a dynamické namáhání, která se přenáší do celého soustrojí. Vlivem toho dochází ke zrychlení opotřebení komponentů, které zajišťují posuv supportu. Je nutno zdůraznit, že poškození je důsledkem dlouhodobého přetěžování, které se kumuluje do výsledné poruchy, a ne jednorázového přetížení.

3.1.1 Budící síly a rozdělení vibračního signálu

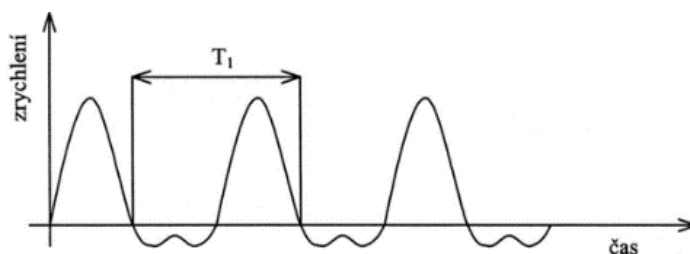
- Periodická budící síla – jedná se o opakující se typ budící síly, který můžeme v praxi přičíst například nevyváženosti rotoru.
 - Impulsní budící síla – vzniká například při poškození valivého ložiska (kontakt poškozeného místa s kuličkou nebo vnitřním či vnějším kroužkem).
 - Budící síla náhodného průběhu – těleso na které působí, vykazuje náhodnou odezvu.
- [7]

Průběh vibračního signálu v čase se dělí na:

- a) periodický (obr.č.3)
- b) složený periodický (obr.č.4)
- c) přechodový
- d) náhodný (obr.č.5)



Obr.3 Periodický signál [5]



Obr.4 Složený periodický [5]



Obr.5 Náhodný [5]

3.1.2 Snímače vibrací

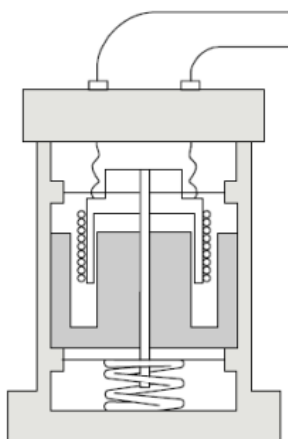
Vibrodiagnostikou se měří a vyhodnocují tři základní veličiny, a to výchylka, rychlost a zrychlení. Nízké frekvence mají souvislost s celkovým stavem stroje, naopak vysoké frekvence charakterizují poruchy ložisek či převodovek. Pro poruchy ve vysokých frekvencích, které mohou dosahovat i desítek kHz se využívá zrychlení vibrací.

Rychlost vibrací se využívá pro identifikaci poruch v nízkých nebo středních frekvencích, a to v hodnotách 10–1000 Hz. Tyto hranice udává norma ČSN ISO 20 816-1.

Snímače se rozdělují na:

- seismické snímače
- snímače relativní výchylky

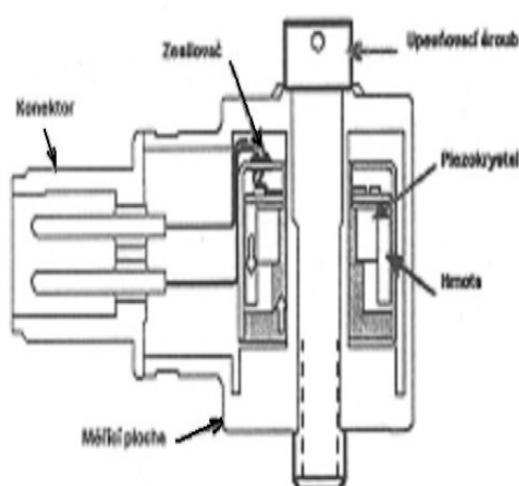
Snímače rychlosti se řadí do skupiny seismických zařízení. Skládají se z cívky a permanentního magnetu. Cívka vlivem vibrací kmitá v magnetickém poli a indukuje napětí. Snímače rychlosti se používají na nerotující zařízení. viz obrázek č.6. [7]



Obr.6 Snímač rychlosti vibrací [6]

Snímačem zrychlení je nazýván akcelerometr. Tento snímač může zaznamenané zrychlení převést matematickým přepočtem na rychlost nebo výchylku.

Akcelerometry jsou v praxi nejpoužívanější snímače vibrací. Mají poměrně jednoduchou konstrukci a dostupnou cenu. Funkce akcelerometru je založena na piezokrystalu, který funguje na základě piezoelektrického jevu. Ten vzniká, když na piezokrystal začne působit vnější síla, a tím se na stěnách krystalu začne generovat elektrický náboj, který je poté dále vyhodnocován. Elektrický náboj je totožný silou, která působí na krystal. Pokud vezmeme v úvahu, že hmotnost snímače je konstantní, tak se dá říci, že elektrický náboj je úměrný zrychlení. viz obrázek č. 7. [7]



Obr.7 Akcelerometr [5]

Volba akcelerometru je závislá na jeho vlastnostech snímače. Mezi základní vlastnosti patří:

- dynamický rozsah
- frekvenční odezva
- rezonanční frekvence
- horní frekvenční limit
- dolní prahová frekvence
- rušení
- citlivost
- teplotní rozsah

3.2 Tribodiagnostika

Tribodiagnostika je souhrn diagnostických testů, které pro získávání informací o stroji využívající mazivo. Hodnotí při tom jeho vlastnosti a kvalitu. Tribodiagnostická měření nabývají své významnosti, protože dokáží predikovat vznik poškození stroje dlouho před jeho nucenou odstávkou. Pokročilé metody měření maziv nám dávají možnost, dozvědět se opravdu téměř vše o zkoumavém vzorku.

Souhrnně lze uvést, že tribodiagnostika sleduje:

- a) degradaci pracovního maziva
- b) technický stav strojních součástí

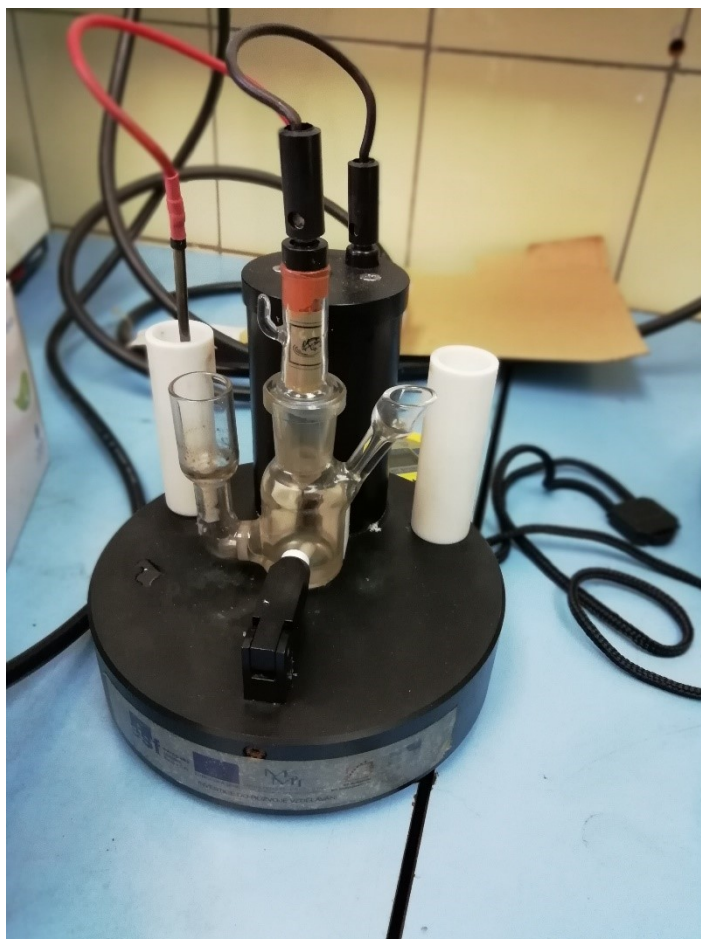
V rámci rozborů musíme rozlišovat, jestli jde o motorové nebo průmyslové oleje, protože se odlišují druhy testů, které pro diagnostiku využíváme. U obráběcího centra je využit hydraulický olej, takže souhrnně pro hodnocení maziva používáme tyto testy.

- Číslo celkové kyselosti TAN
- Obsah vody
- Spektrální analýza
- Rentgenová spektrometrie
- Kinematická viskozita
- Kód čistoty
- Ferografie

3.2.1 Číslo celkové kyselosti TAN

Kyselost oleje je u hydraulických olejů důležitý parametr. Olej s vysokou kyselostí je vysoce nežádoucí, protože jeho přítomnost způsobuje korozi součástí, přispívá ke změnám viskozity a rozleptává těsnění. Všechny tyto příklady jsou jasnou ukázkou toho, proč musíme kyselost měřit. Vznik kyselin je běžnou součástí provozního nasazení ve stroji. Vlivem degradačních procesů, jako například napadání maziva oxidem kyslíku, pravidelného temperování maziva nebo reakcí s některými kovy, je po určité době za hranou své životnosti. [8]

Způsob kontroly je prováděn testem TAN. Tento test zjišťuje množství volných kyselých složek. Jde o množství hydroxidu draselného v miligramech, které je potřebné pro neutralizaci všech kyselých složek v 1 gramu zkoušeného vzorku. Pro exaktní stanovení množství je využívána metoda titrace na barevný indikátor. Přístroj viz. obrázek č. 8. [8]



Obr. 8 Přístroj pro zjištění TAN [autor]

3.2.2 Obsah vody

Voda v mazivu ve větším, než stopovém množství je výrazný problém nejen pro kvalitu maziva, ale i pro životnost celého stroje. Voda způsobuje velmi vážné urychlení degradace životnosti oleje, navíc má za následek i tyto konkrétní problémy:

- pění oleje
- tvorbu emulze
- korozi součástí
- zvyšování viskozity
- tvorba kalů
- snižování účinků aditiv
- rychlejší oxidaci

U hydraulických systémů mezi největší problémy patří **pění olejů, tvorba kalů a změna viskozity**. Pění oleje je velice závažné. Moderní hydraulické systémy jsou velmi sofistikované zařízení a plynulost dodávek oleje, jako pracovního média je klíčová pro jejich dlouhodobou životnost. V případě, že je v oleji přítomna voda, olej se zakalí, vzniknou bublinky. Jakmile hydraulický systém nasaje bublinu vzduchu, tak může dojít k okamžitému poškození jednotlivých prvků. [8]

Hodnocení obsahu vody je možno provést dvěma způsoby, a to **kvalitativně** nebo **kvantitativně**.

Kvalitativní zkouška je taková, při níž je zjišťováno, zda je v oleji přítomna voda, ale už nedokážeme exaktně zjistit, jaké množství vody se ve zkoumaném vzorku nachází.

- vizuální zkouška – Zkoumání vzorku pouze pohledem, pokud je ve vzorku větší koncentrace než 0,025 %, tak se vzorek zakalí.
- prskací zkouška – Na rozehrátou desku se přivede vzorek oleje, pokud olej začne vytvářet bublinky, či dokonce prskat, tak je voda ve vzorku přítomna. [8]

Kvantitativní zjišťování obsahu vody vyžaduje o poznání sofistikovanější pracovní techniku. Jedná se zjišťování přesného množství vody ve vzorku.

- Coulometrická metoda – její hlavní princip je založen na titraci jodu J_2 , který je udržován na konstantní výši. Při zavedení vzorku s obsahem vody do nádoby s jodem se tato hladina poruší a přítomný jod s vodou začne reagovat. S touto metodou přišel jako první pan K. Fischer. Viz. obrázek č.9.
- Destilační zkouška – není tak přesná jako metoda K.F. Umožňuje kvantitativní zjištění vody přibližně od 0,02 %. [8]



Obr. 9 Coulometrická metoda K. Fischer [autor]

3.2.3 Spektrální analýza FT-IR

Infračervená spektrometrie je založena na odrazu infračerveného záření od zkoušeného vzorku. Vzorek je nanesen na krystal selenidu zinečnatého. Odrazů v krystalu bývá 10–12 a pronikají do hloubky 1–2 mikrometry. Tyto odrazy mají za následek vybuzení molekul na vyšší vibrační hladiny. Tím se pohltí záření s určitým množstvím energie. Tím vznikají vibrační absorpční pásy a jejich umístění potom odpovídá určitým sloučeninám. Viz obrázek č. 10. [8]

Za využití této metody můžeme zjistit ze vzorku tyto informace.

- obsah nitračních, sulfatačních a nitračních produktů
- úbytek antioxidantů, antikoročních a detergenčních látek
- obsah vody a glykogenů
- záměnu olejů
- obsah paliva a další



Obr. 10 Přístroj pro spektrální analýzu [autor]



Obr. 11 Krystal selenidu zinečnatého [autor]

3.2.4 Rentgenová spektrometrie

Pracovní stroj, který pro svou funkci využívá kapalné mazivo, tak po určité době začne produkovat mechanický otěr, dojde k chemické změně maziva apod. Úkolem rentgenové spektrometrie je vyhodnotit tyto změny. Vyhodnocení spočívá v prvkové analýze. Princip funkce je založen na rentgenovém záření, které má za následek vybuzení elektronů ze struktury atomu jednotlivých prvků.

Jedná o velice složitou matematicko-fyzikální metodu, jejíž výstupem je tabulka s hodnotami viz obrázek.č.13, které odpovídají koncentraci jednotlivých prvků obsažených ve vzorku. Fotografie přístroje viz obr. 12. [10]



Obr. č 12 Spektrometr Xepos-XRF [autor]

Na	Sodium	32,4590	4202ppm
S	Sulfur	2919,2875	2119ppm
P	Phosphorus	239,2176	397,9ppm
Zn	Zinc	3725,1084	343,8ppm
Ca	Calcium	15,4759	54,6ppm
Fe	Iron	144,9555	37,4ppm
Ta	Tantalum	59,5344	16,2ppm
Co	Cobalt	10,8393	14,3ppm
Cr	Chromium	14,0567	12,5ppm
Cu	Copper	66,1739	8,7ppm

Obr. č 13 Příklad vyhodnocení [autor]

3.3 Termodiagnostika

Tvorba těchto kapitol a podkapitol byla tvořena za pomoci tohoto zdroje: [5] [11]

Měření povrchové teploty nebo teplotních obrazců je jednou z nejvíce rozvinutých metod, a to z pohledu aplikovatelnosti na různá pracovní prostředí, zařízení či strojní součásti, což z ní činí neodmyslitelnou součást multiparametrické diagnostiky. Hlavní a zároveň nejdůležitější aspekt je ten, že diagnostik ve spoustě případů nemusí během měření fyzicky interagovat s měřeným objektem. Záleží samozřejmě na charakteru měření. V některých případech je kontaktní měření nevyhnutelné. Význam to má převážně u elektrických zařízení nebo měřených míst s vysokou teplotou.

Termodiagnostika je aplikovaná například v těchto odvětvích:

- strojírenství (měření strojních součástí, jako například spojky, ložiska, elektromotory, včetně obráběcích strojů apod.),
- stavebnictví (převážně měření tzv. tepelných úniků vlivem chybného zázďení, starých oken, nebo chybného zateplení střechy domu),
- vojenství (velice rozšířená je termovize u bojových letounů, navádění raketových střel a další).

Z uvedeného textu je patrné, že využití termodiagnostiky je značně rozsáhlé.

Termodiagnostická měření rozdělujeme do dvou skupin: a) kontaktní měření

b) bezkontaktní měření



Obr. 14 Termokamera Fluke pro bezkontaktní měření teploty [autor]

3.3.1 Kontaktní měření teploty

Během měření dochází k přímému styku měřícího zařízení se zkoušeným předmětem. Měřicí zařízení se nazývají kontaktní nebo také dotykové teploměry.

- Dilatační teploměry – pro zjištění hodnot teploty využívají roztažnosti tuhých, kapalných a plyných látek. Příkladem je kapalinový teploměr, bimetalový, a další.
- Odporový teploměr – v závislosti na teplotě se mění odpor vodiče.
- Polovodičové – využívá změnu vlastností polovodičových vlastností. Tato změna je závislá na změnách teploty.
- Termoelektrické – princip funkce založena na termoelektrickém jevu.
- Tavné indikátory – mají vysoký rozsah použití od 40° C až do 1700° C. Jedná se o nevratné indikátory, kdy po přesáhnutí vymezené teploty dochází k jejich deformaci.
- Barevné indikátory – po přesáhnutí maximální teploty se změní jejich barva.

3.3.2 Bezkontaktní měření teploty

Jak už bylo řečeno, tak využití bezkontaktního měření je velmi výhodné. Ovšem je potřeba upozornit i na nutné požadavky, které se musí splnit, aby měření bylo co nejpřesnější a odpovídalo realitě. Jedná se o správné zadání **emisivity** a tzv. **odražené zdánlivé teploty**, nastavení a kompenzaci těchto parametrů popisuje norma ČSN ISO 18 434.

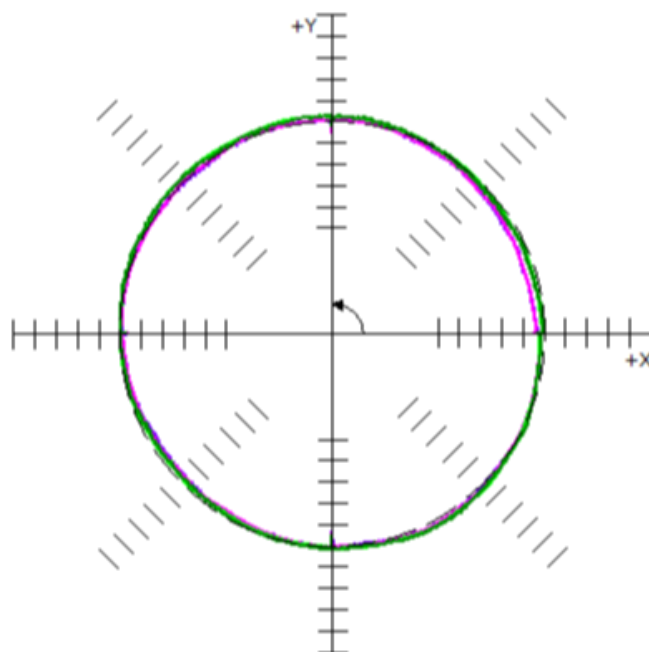
Výhody plynoucí z bezkontaktního měření jsou zejména:

- Minimální ovlivnění měřeného zařízení, objektu apod.
- Bezpečné měření teplot elektrických a rotačních zařízení
- Významná je možnost měření velkoplošných teplotních obrazců

3.4 Měření kruhovitosti – Ballbar

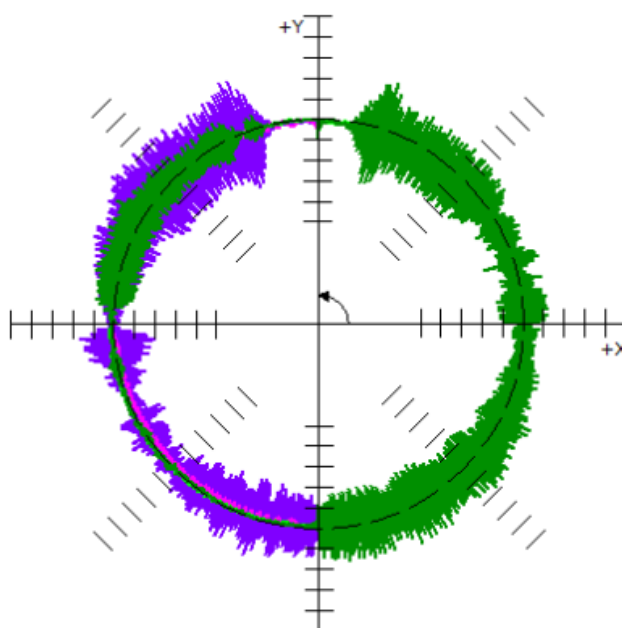
Systém Ballbar QC 20-W byl vyvinut firmou Renishaw a slouží k diagnostice obráběcích strojů. Konkrétně jde o měření kruhovitosti a následnému numerickému vyhodnocení naměřených hodnot. Metoda je založena na měření poloměru kruhu. Měřicí zařízení Ballbar během měření vysílá signál o průběhu měření a ten je následně zpracován v počítačovém programu. Ballbar je s pracovním počítačem propojen pomocí USB kabelu. Před samotným měřením je potřeba vytvořit v CNC stroji program, aby stroj během pracovního cyklu opsal kruh o poloměru 50 mm (hodnota záleží na použitém typu snímače). Příprava měření začíná tím, že do vřetene a do svěráku upneme přípravek pro uchycení měřicího zařízení. Na konci měřicího zařízení jsou kolové plochy, mezi které se nasadí měřicí zařízení do magnetů. Po dokončení měření se výsledky zobrazí v počítačovém programu a diagnostik vyhodnotí stav stroje. V dnešní době firma Renishaw nabízí různé druhy Ballbaru. Pro tuto diplomovou práci je k dispozici zařízení s přenosem signálu přes kabelový USB port, ale v nabídce jsou i s přenosem signálu pomocí Wifi sítě apod.

Příklad vyhodnocení viz obrázky č. 15, 16 a 17. Ballbar QC20-W je schopen odhalovat poškození ložisek, kuličkových šroubů a vedení pracovního stolu obráběcího stroje.



Obr.15 Příklad grafického vyhodnocení [autor]

Nastavování výstražných a alarmových hodnot vyžaduje značnou dávku zkušeností a znalostí o měřeném stroji a samozřejmě celé problematiky Ballbar. Nicméně kontrola přesnosti CNC strojů nespočívá jen a pouze v diagnostice Ballbar. Souběžně s touto metodou se využívá i tzv. “kontrola na trn” a “kontrola na úhelníkovou desku”. Vyhodnocení je poté prováděno pomocí měřících hodiněk v přesnosti na 0,1 mm až 0,01mm v závislosti na přesnosti měřidla.



Obr. 16 Příklad grafického vyhodnocení [autor]

27% Zpoždění serva Y	↖ -2,7μm ↗ 0,4μm
17% Amplituda cyklické chyby Y	↑ 0,4μm ↓ 1,7μm
12% Amplituda cyklické chyby X	↑ 1,0μm ↓ 1,2μm
10% Relativní chyba odměřování	2,0μm
8% Kolmost	8,4μm/m
<hr/>	
Kruhovitost	27,3μm
<div> <div>↻ Běh 1</div> <div>↻ Běh 2</div> <div>↻ Simulovaný běh 1</div> <div>↻ Simulovaný běh 2</div> </div>	

Obr.17 Tabulka naměřených hodnot [autor]

4 Obráběcí stroj Chiron Mill 800

Chiron je německá firma zabývající se vývojem a výrobou obráběcích strojů. Mill 800 je obráběcí centrum s možností pracovat v pěti osách. Stroj je možno využívat na frézování a soustružení. Firma Meopta tento stroj zakoupila v roce 2006 a v roce 2017 byl stroj poslán na externí generální opravu. Mill 800 je využíván převážně na středně těžké obrábění. Obráběné materiály jsou hliníkové slitiny (*možný zdroj zvýšené koncentrace prvků při rentgenové spektrografii*). Stroj je využíván v třísměnném provozu. Během tohoto období vzniklo na stroji přibližně 129 poruch (mechanických + elektronických). Mezi nejčastější mechanické poruchy patří poškození vřetene, vedení supportu pracovního stolu, poškození ložisek a kuličkového šroubu. [12]



Obr.18 Stroj Chiron Mill 800 [autor]

Tabulka č.1 Parametry stroje Chiron Mill 800 [12]

Operační systém	Fanuc 18iMBS
Pracovní rozsah os X, Y, Z	800, 500, 550 [mm]
Max. otáčky vřetene	12 000 [ot. min ⁻¹]
Rychloposuv	60 [m.min ⁻¹]
Otočná hlava	± [100°]
Max. zatížení pracovního stolu	1200 [kg]
Tlak chladicí kapalina	70 [bar]
Max. počet pracovních nástrojů	65 [-]

Mill 800 využívá hydraulický systém na tzv. zpevňování osy pracovního stolu. Jedná se o to, že pokud stůl zastaví na pracovních hodnotách, které jsou uvedeny v software stroje, tak dojde k mechanickému zastavení a upevnění stolu. Hydraulika toto upevnění ještě umocní proto, aby i při těžkém obrábění nedošlo k jakémukoliv vychýlení z pracovních hodnot. Jakýkoliv posun mimo stolu při obrábění vede ke zhoršení přesnosti obrábění a znehodnocení obrobku.

Pro pracovní činnost systému je využit minerální olej pro hydrostatické mechanismy, HM 46.



Obr. 19 Hydraulický systém Chiron Mill 800 [autor]

5 Diagnostická měření

Měření stroje a odběr vzorků probíhal v prostorách mechanické výroby ve firmě Meopta.

5.1 Tribodiagnostika

Měření hydraulického oleje probíhalo v TRIBO laboratoři v prostorách VŠB-TU Ostrava a při rozboru vzorku jsem prováděl tyto zkoušky:

- Hodnocení kinematická viskozity
- TAN č. kyselosti
- Obsah vody v mazivu
- Vyhodnocení obsahu a velikosti mechanických nečistot
- FT-IR
- Rentgenová spektrofotometrie

5.1.1 Hydraulický olej Paramo HM 46

Paramo HM 46 je určen pro vysokotlaké mechanismy, které pracují při vysokých teplotách a tlacích. Olej je vyroben z vysoce rafinovaných základových olejů, které obsahují řadu aditiv, jako jsou antioxidanty, detergenty, aditiva zabraňující korozi apod. Použití je pro hydraulické mechanismy. Jsou vhodné i pro mobilní hydrauliky, které pracují v nestálých venkovních podmínkách. [9]

Do doby generální opravy se využíval u Chironu Mill 800 olej HM 22. Po generální opravě byla navržena substituce na olej HM 46. Informace o tom, proč k tomu došlo nejsou k dispozici.

Tabulka 2. Parametry oleje HM 46 [9]

Kinematická viskozita	48,48 [mm ² .s ⁻¹]	ČSN EN ISO 3104
Bod vzplanutí	220 [°C]	ČSN EN ISO 2592
Bod tekutosti	-27 [°C]	ČSN ISO 3016
Deem.char. /54°C/ čas	10 [min.]	ČSN ISO 6614
Hustota při 15 °C	876 [kg.m ⁻³]	ČSN EN ISO 12185

5.1.2 Vyhodnocení měření 25.10. 2018

Odběr vzorků probíhal za provozu stroje, stroj byl v plné zátěži minimálně 2 hodiny. Samotný odběr byl proveden pomocí upouštěcího ventilu, který byl vytvořen údržbou podniku. To znamená, že před tímto zásahem nebylo možné odebrat olej bez zásahu technika, resp. údržbář byl nucen rozebrat část proudové větve, aby se dostal k hydraulické kapalině.

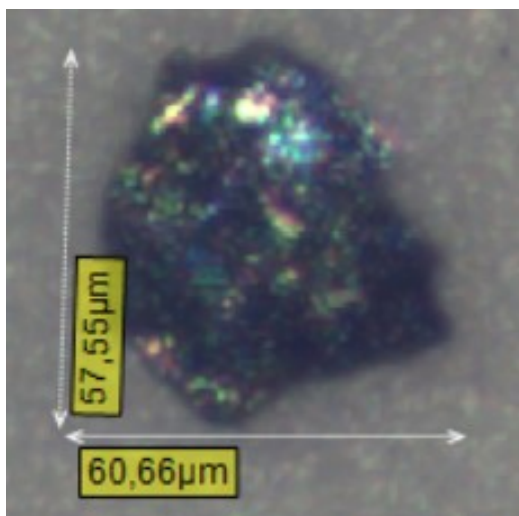
Výsledky měření jsou k vidění v tabulce č.3 a č.4

Tab.3 Výsledky měření č.1

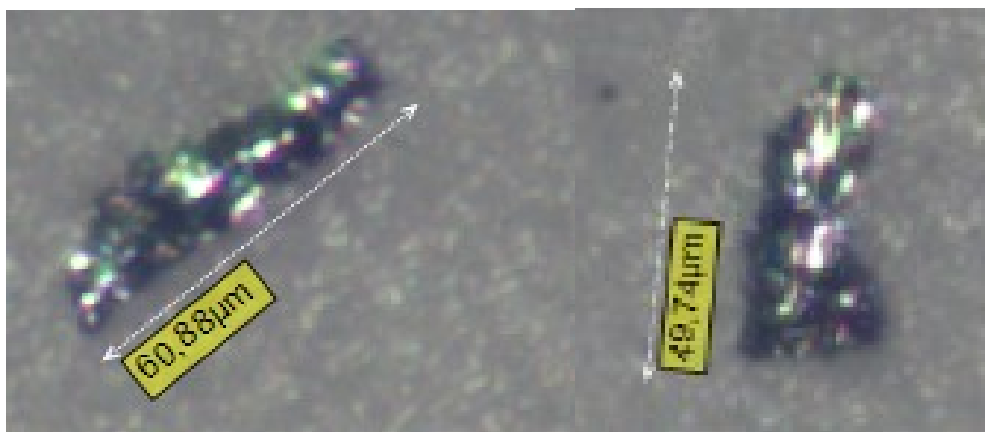
Datum měření:	25.10.2018
Kinematická viskozita 40°C [mm ² .s ⁻¹]	43,06
Obsah vody [hm.%]	0,001
Kód čistoty	16/15/13
TAN [mgKOH.g ⁻¹]	0,39

Po prozkoumání výsledků v tabulce č.3 můžeme konstatovat, že kinematická viskozita je v rozhraní $\pm 10 \%$ od reference, což odpovídající kapalnému mazivu HM 46, které je udáváno výrobcem. Obsah vody v mazivu je minimální. TAN číslo kyselosti při porovnání s referenčním vzorkem (TAN ref.=0,25 [mgKOH.g⁻¹]) je taky v hodnotách ukazující dobrý stav maziva.

Podstata problému začíná při detailním rozboru mechanických nečistot a prvkové analýzy. Kód čistoty nenaznačuje na první pohled nic významného, ovšem při bližším zkoumání vzorku pod mikroskopem byly objeveny významné mechanické nečistoty, které do hydraulického oleje nepatří, a to navíc pokud se jedná o stroj s poměrně citlivou hydraulickou mechanikou, a navíc Chiron Mill 800 je stroj značné významnosti pro výrobu. Konkrétně se jedná o řezné částice s velikostmi v desítkách mikronů. Tyto nečistoty je možné postřehnout na obrázcích č. 20 a 21.



Obr.20 Řezná částice [autor]



Obr. 21 Částice adhezního opotřebení [autor]

Tab.4 Prvková analýza

Prvek	Max. [PPM]	Naměřená hodnota [PPM]
Cu	30	34,8
Cr	15	7,4
Sn	15	3
Si	25	1
Fe	40	9,7

Po provedení prvkové analýzy za pomoci rentgenové spektrofotometrie byla nalezena zvýšená koncentrace mědi (Cu), a to s hodnotou 34,8 PPM. Možný zdroj mědi u hydraulických systémů mohou být např. lamely, zuby čerpadla, ložiska. Nicméně v tomto případě hydraulika využívá pístové čerpadlo.

To znamená, že čerpadlo není přímý zdroj problému, a proto bylo provedeno další zkoumání konstrukce stroje a za možný zdroj otěru byl označen upevňovací mechanismus pracovního stolu. Respektive klín, který se zasouvá mezi zubové mezery, když se stroj má zastavit na exaktním pracovním místě dle programu v softwaru stroje. Zbylé otěrové prvky se nacházely ve standartních hodnotách tzn. že odpovídají dobrému stavu maziva.

5.1.3 Vyhodnocení měření 18.12. 2018

Po prvním měření a vyhodnocení došlo k následnému doporučení pro firmu Meopta. S přihlédnutím ke stavu maziva byla firmě doporučena kompletní výměna maziva v okruhu hydraulického systému. Dalším krokem pro nápravu byla nutnost vyměnit hlavní filtr.

Tab. 5 Vyhodnocení měření

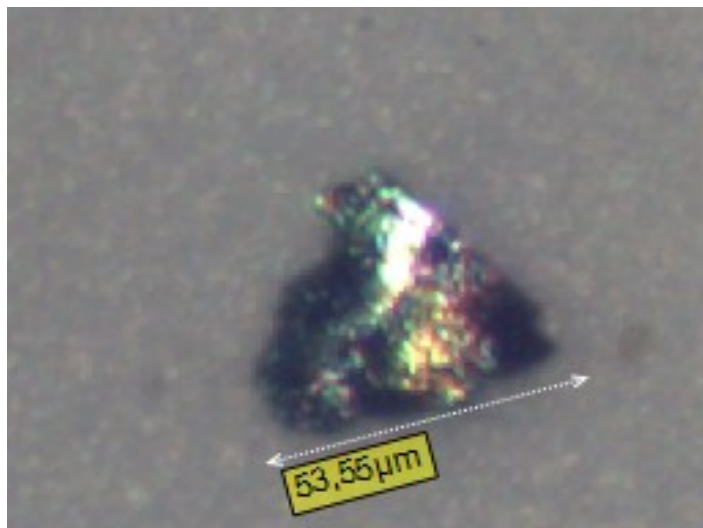
Datum měření:	18.12.2018
Kinematická viskozita 40°C [mm ² .s ⁻¹]	43,2
Obsah vody [hm.%]	0,002
Kód čistoty	15/14/12
TAN (číslo kyselosti) [mgKOH.g ⁻¹]	0,30

Naměřené hodnoty kinematické viskozity, vody a TAN odpovídají novému oleji, ovšem hodnoty mechanických nečistot, dle kódu čistoty a následného detailního rozboru pod mikroskopem byly objeveny opět značné řezné částice, které jsou na obr. 22 a 23. Tyto nečistoty jsou zřejmě ještě dozvukem onoho znečištění, které bylo řešeno v minulé podkapitole.

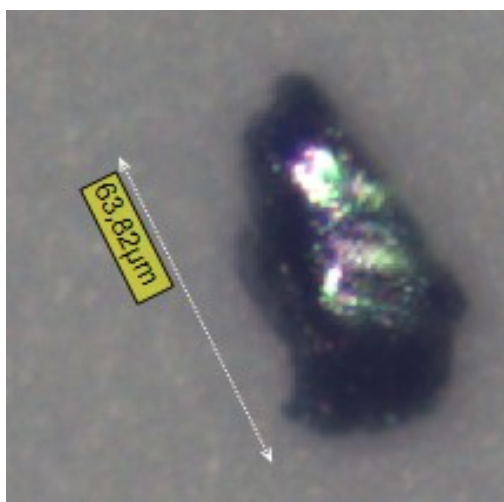
Tab.6 Prvková analýza

Prvek	Max. [PPM]	Naměřená hodnota [PPM]
Cu	30	23,9
Cr	15	7,2
Sn	15	3
Si	25	1
Fe	40	15,5

Prvková analýza poukazuje na snížené množství Mědi (Cu), a to z původních 34,8 PPM na 23,9 PPM. K mírnému zvýšení došlo u Železa (Fe) na 15,5 PPM. Železo má limit 40 PPM, takže tohle zvýšení je pouze minimální, nicméně i tak musíme dávat pozor na další vývoj trendu.



Obr.22 Mechanické nečistota [autor]



Obr.23 Mechanické nečistota [autor]



Obr.24 Výstup z metody FT-IR [autor]

Při porovnání metody FT-IR a rentgenové spektrofotometrie je patrné, že došlo k poklesu aditiv vlivem degradace oleje (**fialová křivka**), oproti křivce odpovídající referenčnímu vzorku, což byl vzorek nového maziva (**červení křivka**). Po výměně oleje, zapříčiněné nečistotami, se aditiva vrátila opět na podobné hodnoty referenčního vzorku. Tuto skutečnost reprezentuje **zelená křivka**. Křivky jsou vyobrazeny na obrázku č.24.

5.1.4 Vyhodnocení měření 1.3 2019

Poslední odběr proběhl po výměně hlavního filtru. Všechny parametry uvedené v tab. č. 7 jsou v povolených hodnotách, obzvláště hodnota obsahu vody je minimální, což je pozitivní, protože vyšší obsah vody způsobuje pění oleje, a to má za následek poruchy hydraulických součástí, např. rozvaděčů.

Tab. 7 Vyhodnocení měření

Datum měření:	1.3.2019
Kinematická viskozita 40°C [mm ² .s ⁻¹]	44,1
Obsah vody [hm.%]	0,003
Kód čistoty	15/14/13
TAN (číslo kyselosti) [mgKOH.g ⁻¹]	0,32

Tab. 8 Výsledky prvkové analýzy

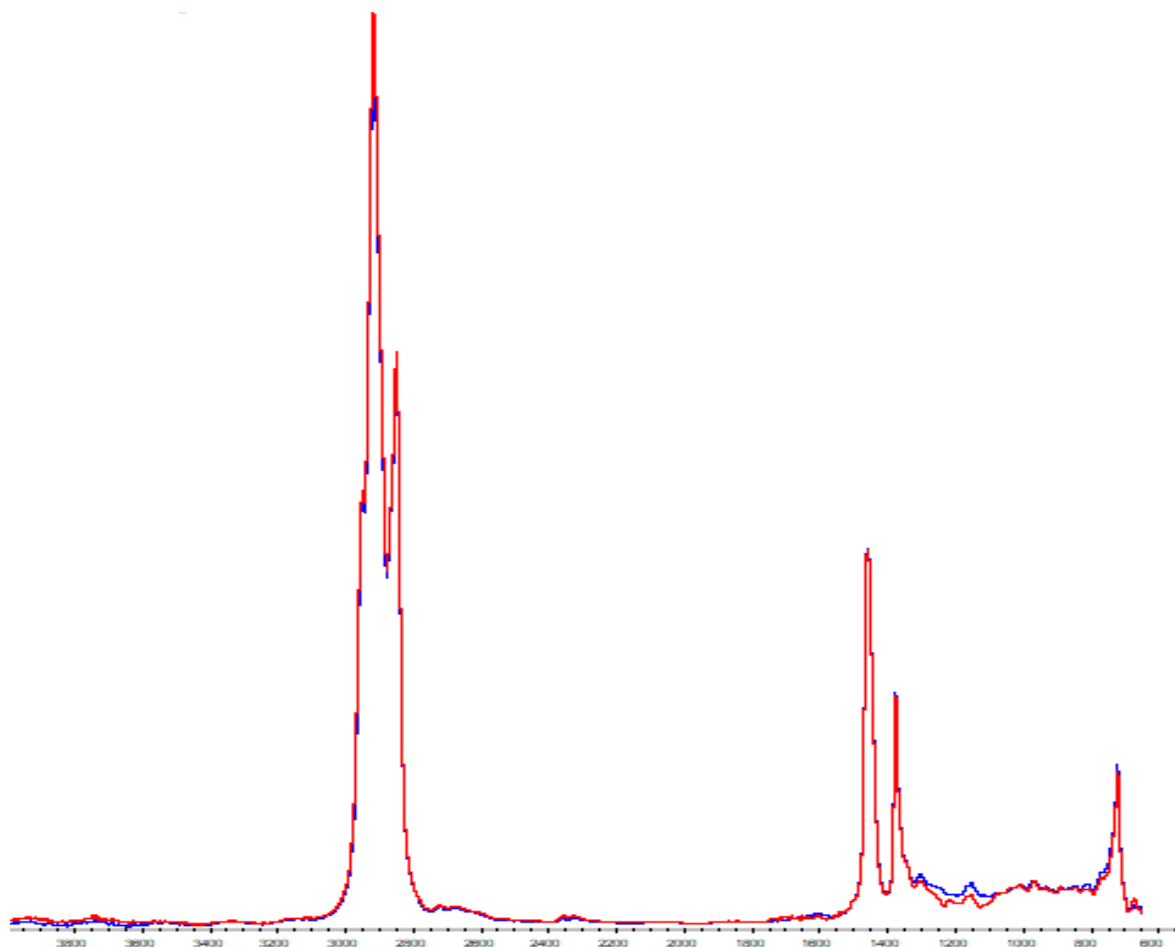
Prvek	Max. [PPM]	Naměřená hodnota [PPM]
Cu	30	34,3
Cr	15	9,6
Sn	15	3
Si	25	1
Fe	40	1

V tabulce č. 8 se opět objevuje hodnota Mědi (Cu) ve vyšších hodnotách. Sumárně se měď objevovala ve všech třech měřeních. V rámci prevence bych doporučoval prověřit metodiku dolévání maziva do stroje. Jako další věc by stálo za pozornost, zjistit od výrobce nebo popřípadě od externího servisu možný zdroj vzniku tohoto otěru. Hodnota 34,3 ppm je dostatečně varující, a navíc umocněná tím, že je to opakující se cyklus, který se neodstranil ani výměnou oleje a následnou filtrací. Na obrázku č. 26 je vyobrazení metody FTIR, která neukazuje na výrazný problém, například se záměnou olejů.

Mechanické nečistoty jsou u hydrauliky v rámci poškození jednou z nejvíce devastujících závad. Proto by se mělo čistotě oleje věnovat značné pozornosti. U měření všech třech vzorků jsme sice nezaznamenali vysoký kód čistoty, nicméně mikroskop odhalil neúměrně velké částice až o velikostech 100 μm , což nepřípustné. Jedno z doporučení může být například častější výměna filtrů. Další doporučení pro obor tribodiagnostiky budou popsána v kapitole č.6 ***Zhodnocení údržby a doporučení pro budoucí provoz.***



Obr. 25 Otěr mechanické částice



Obr. 26 Vyhodnocení FTIR

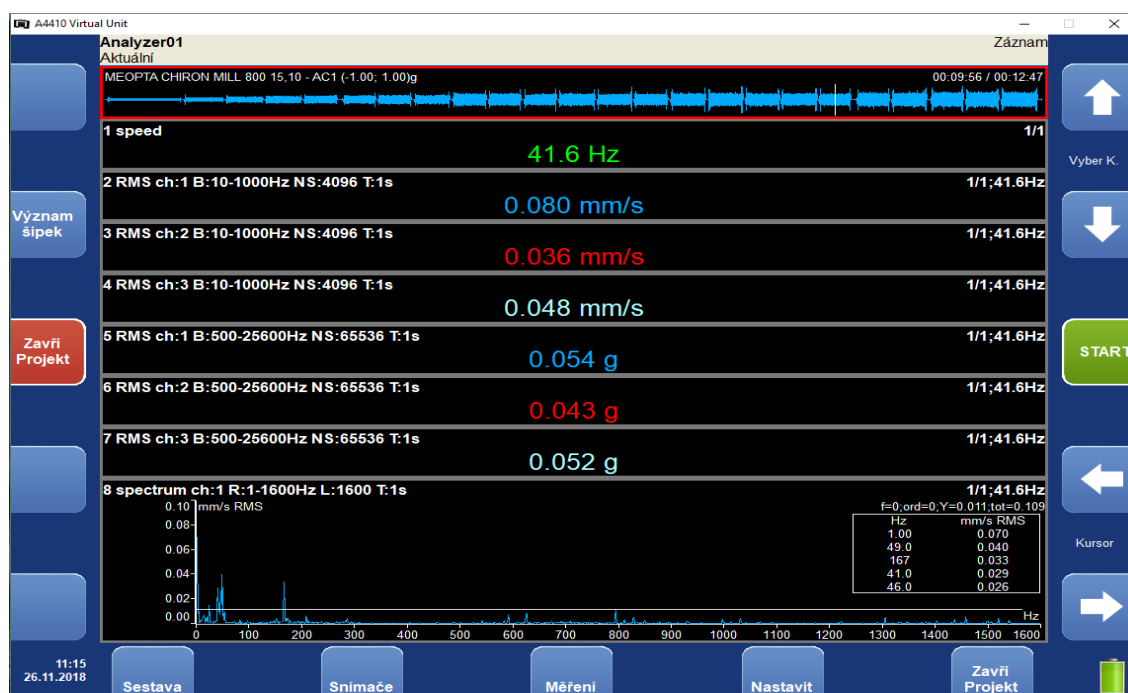
5.2 Vibrodiagnostika

5.2.1 Adash A4400-VA4 Pro

Tento analyzátor se používá pro klasické pochůzkové měření, měření bump testu pro zjištění rezonanční frekvence. Následně může uživatel použít funkci stetoskop, ultrazvukové měření apod. Samozřejmostí je vyhodnocování přímo v analyzátoru nebo v PC za pomoci softwaru Virtual Unit, který je vyobrazen na obrázku č. 27. Parametry přístroje jsou popsány v tabulce č 9.

Tab. č.9 Parametry přístroje Adash A4400-VA4 Pro

Procesor	Intel Atom 1,6 GHz
Režimy měření	Analyzátor, sběrač dat, vyvažování, rozběhy, rekordér, rozběhy/doběhy, rázový test, ultrazvuk a další
Zpracování dat	FFT v reálném čase, ENVELOPE analýza, ACMT analýza, měření otáček, měření orbit
Vstupní kanály	4 AC, 4 DC, 1 TACHO
Paměť	120 GB
Rekordér signálu	Vzorkovací frekvence 64 kHz
Rozlišení FFT	Min. 100 čar, Max. 3 276 800 čar
Provozní teplota	-10°C až +50°C



Obr. 27 Pracovní prostředí softwaru Virtual Unit [autor]

5.2.2 Mezní hodnoty pro hodnocení vibrací obráběcích strojů

Maximální hodnoty rychlosti vibrací dle firmy Chiron.

Tab.10 Okrajové podmínky rychlosti pro obráběcí stroj Chiron Mill 800

Otáčky [ot. min ⁻¹]	Rychlost vibrací [mm.s ⁻¹]
1000	≤ 0,13
2000	≤ 0,26
3000	≤ 0,39
4000	≤ 0,52
5000	≤ 0,65
6000	≤ 0,78
7000	≤ 0,91
8000	≤ 1,04
9000	≤ 1,17
10000	≤ 1,30
11000	≤ 1,43
12000	≤ 1,56

Tab.11 Okrajové podmínky zrychlení pro stroj Chiron Mill 800

Pásmo	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A/B	Max.0,5
B/C	Max.2
C/D	Více než 4

Význam pásem A až D je dán stavem stroje. Tedy pásmo A odpovídá novému stroji, B stavu stroje bez poruchy, v pásmu C se začínají projevovat zvýšené vibrace a pokud je stroj v pásmu D, tak musí být odstaven, protože hrozí havárie.

5.2.3 Vyhodnocení měření 25.10.2018

Pro vyhodnocování jsem provedl dopočet otáčkové frekvence pomocí vzorce:

$$f_o = \frac{\text{Otáčky}}{60} [\text{Hz}]$$

Tab.12 Hodnoty otáčkové frekvence

Otáčky [ot. min ⁻¹]	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
Otáč. frekvence [Hz]	8,3	16,6	33,3	50	66,6	83,3	100	116,6	133,3	150	166,6	183,3	200

Pro stanovení hodnot rychlosti a zrychlení vibrací bylo provedeno měření s konstantním zvyšováním otáček [ot. min⁻¹]. Výsledky jsou vyobrazeny v tabulkách níže.

Tab.13 Hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací (500-3000 ot. min⁻¹)

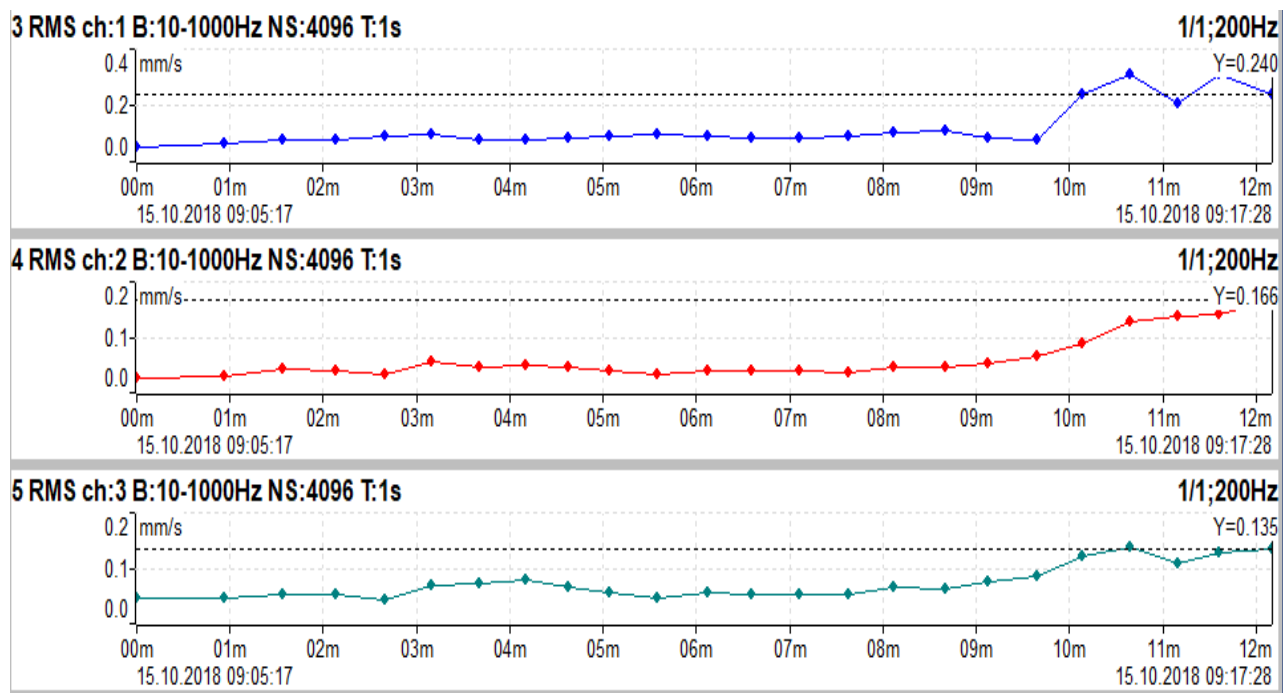
Otáčky [ot/min]	500			1000			2000			3000		
Osa	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
Rychlost [mm/s]	0,055	0,034	0,054	0,071	0,033	0,06	0,071	0,035	0,071	0,088	0,057	0,059
Zrychlení [g]	0,01	0,01	0,017	0,025	0,022	0,028	0,049	0,04	0,053	0,06	0,056	0,056

Tab.14 Hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací (4000-7000 ot. min⁻¹)

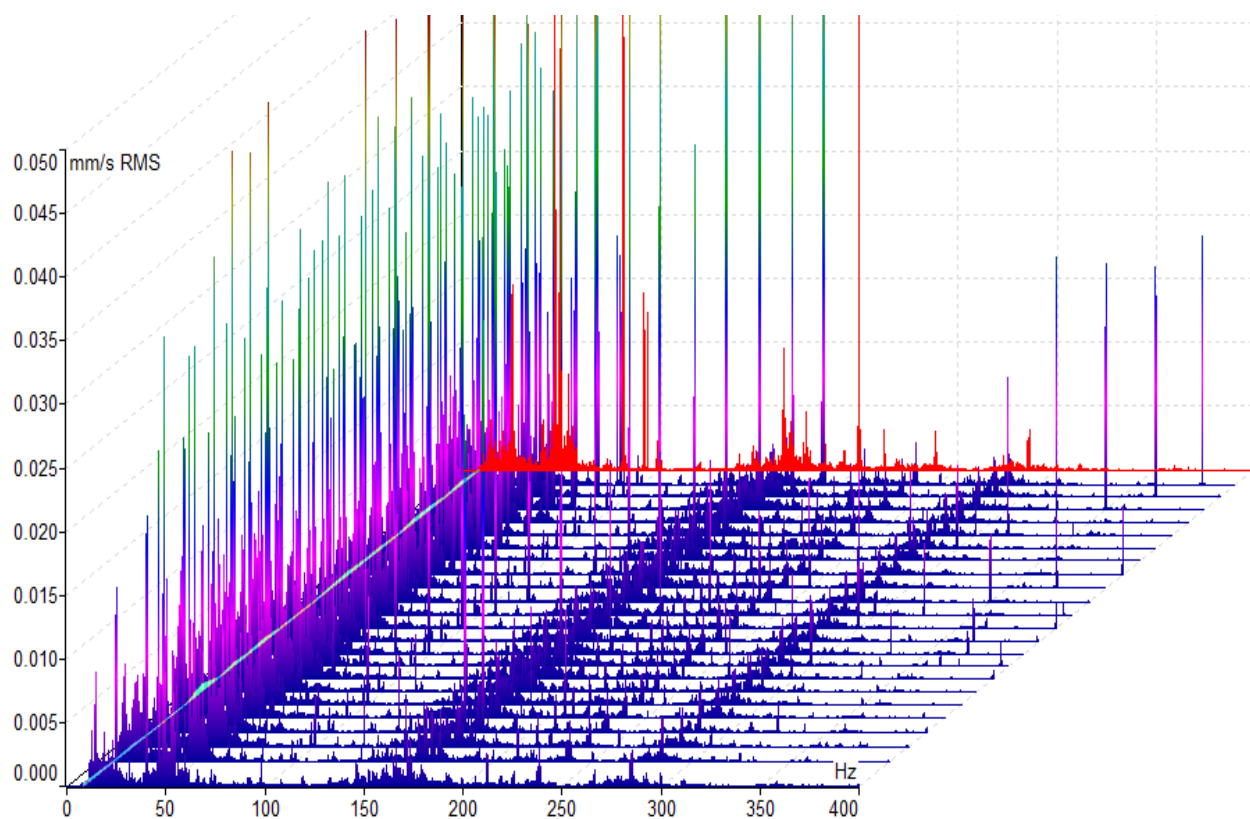
4000			5000			6000			7000		
Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
0,077	0,041	0,07	0,09	0,038	0,064	0,095	0,039	0,055	0,09	0,036	0,043
0,06	0,05	0,07	0,114	0,066	0,087	0,08	0,066	0,088	0,078	0,077	0,081

Tab.15 Hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací (8000-12000 ot. min⁻¹)

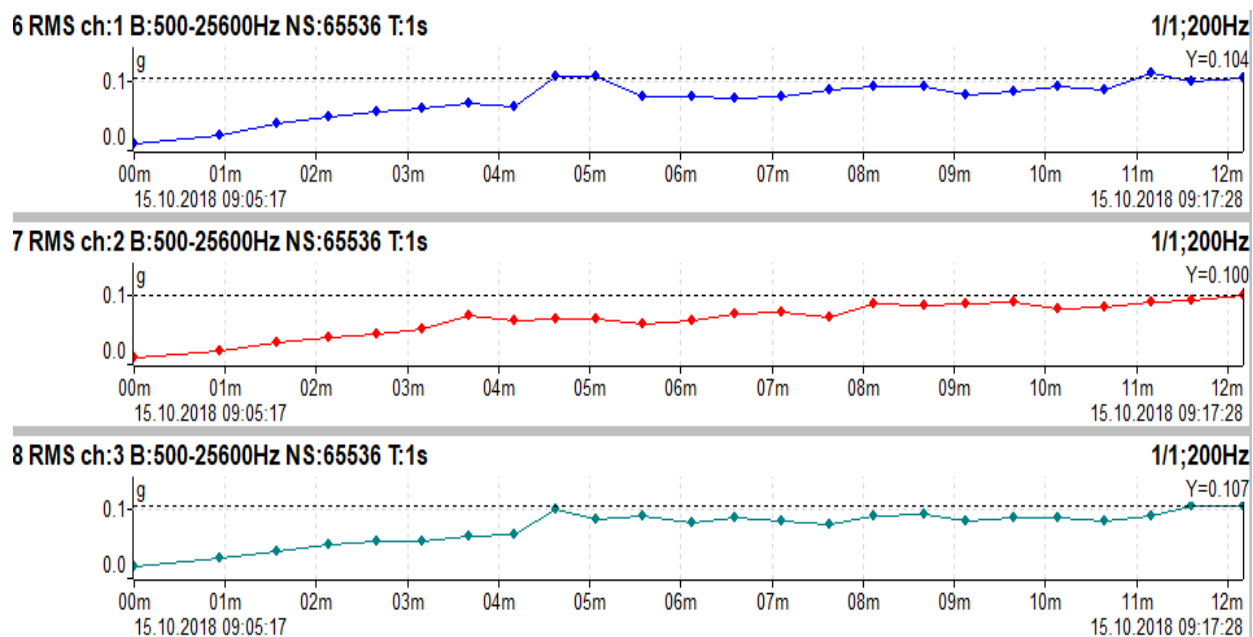
8000			9000		10000				11000			12000		
Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
0,098	0,046	0,06	0,085	0,052	0,07	0,241	0,085	0,12	0,204	0,14	0,11	0,241	0,166	0,138
0,093	0,088	0,95	0,086	0,082	0,08	0,09	0,088	0,091	0,104	0,105	0,1	0,102	0,094	0,106



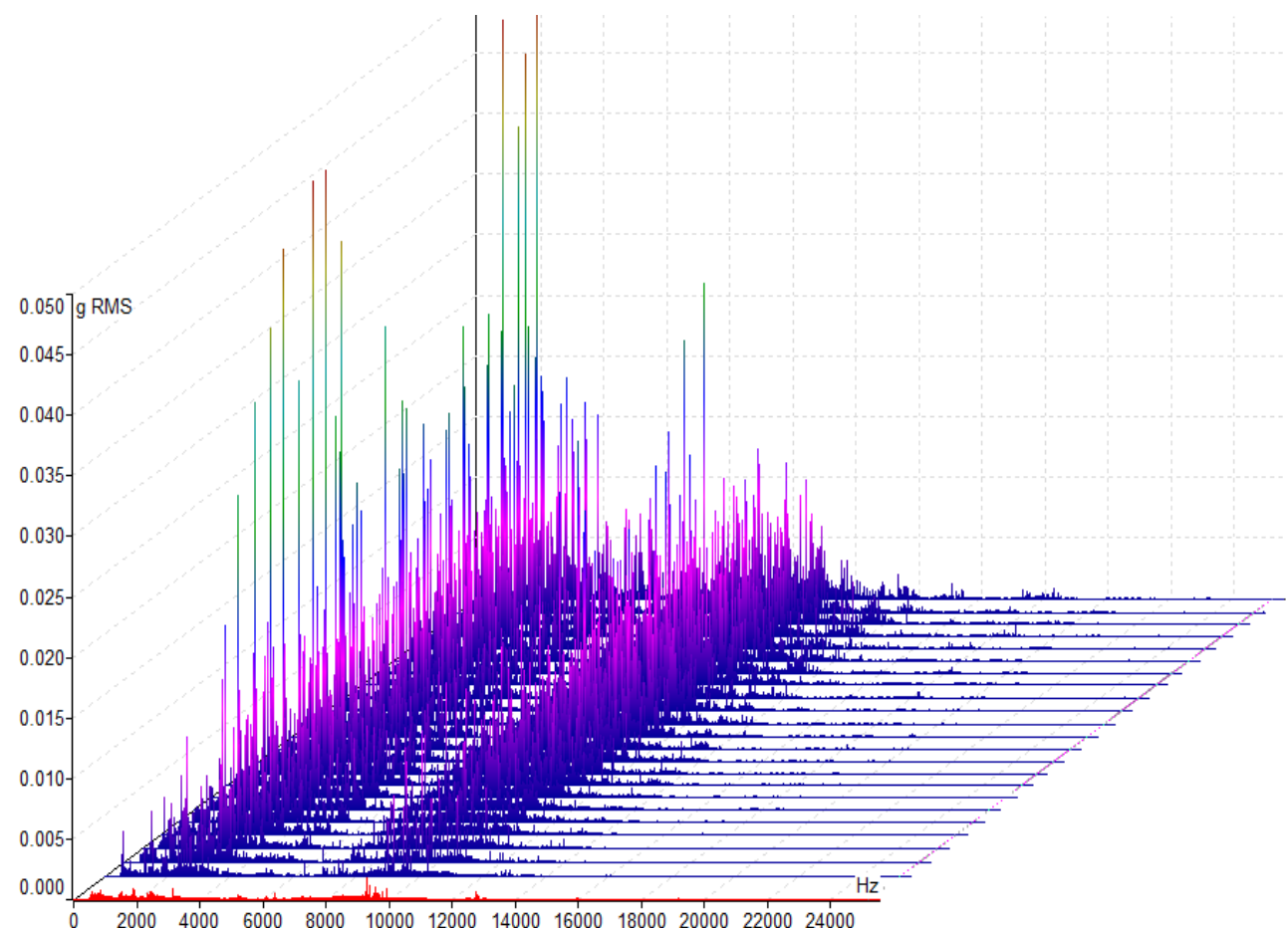
Obr.28 Trendy rychlostí vibrací [autor]



Obr.29 Spektrum rychlosti vibrací [autor]



Obr.30 Trendy zrychlení vibrací v čase měření [autor]



Obr.31 Spektrum zrychlení vibrací [autor]



Obr. 32 Upnutí snímačů [autor]

5.2.4 Vyhodnocení měření 1.3 2019

Pro vyhodnocování jsem provedl dopočet otáčkové frekvence pomocí vzorce:

$$f_o = \frac{\text{Otáčky}}{60} [\text{Hz}]$$

Tab.16 Hodnoty otáčkové frekvence

Otáčky [ot. min ⁻¹]	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
Otáč. frekvence [Hz]	8,3	16,6	33,3	50	66,6	83,3	100	116,6	133,3	150	166,6	183,3	200

Pro stanovení hodnot rychlosti a zrychlení vibrací bylo provedeno měření s konstantním zvyšováním otáček [ot. min⁻¹]. Výsledky jsou vyobrazeny v tabulkách níže.

Tab.17 Hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací (500-3000 ot. min⁻¹)

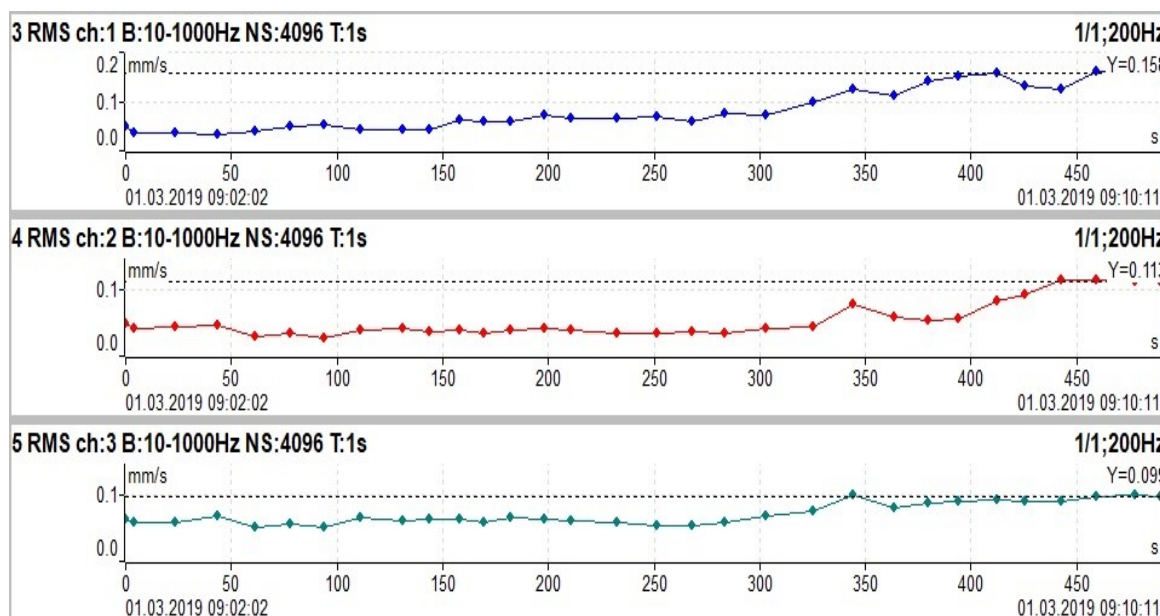
Otáčky [ot/min]	500			1000			2000			3000		
Osa	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
Rychlost [mm/s]	0,043	0,044	0,057	0,051	0,053	0,07	0,031	0,04	0,052	0,056	0,035	0,061
Zrychlení [g]	0,01	0,01	0,01	0,025	0,02	0,024	0,036	0,044	0,043	0,051	0,053	0,053

Tab.18 Hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací (4000-7000 ot. min⁻¹)

4000			5000			6000			7000		
Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
0,047	0,04	0,061	0,04	0,04	0,062	0,057	0,034	0,056	0,067	0,038	0,057
0,062	0,057	0,069	0,54	0,072	0,068	0,087	0,065	0,088	0,097	0,064	0,096

Tab. 19 Hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací (8000–12000 ot.min⁻¹)

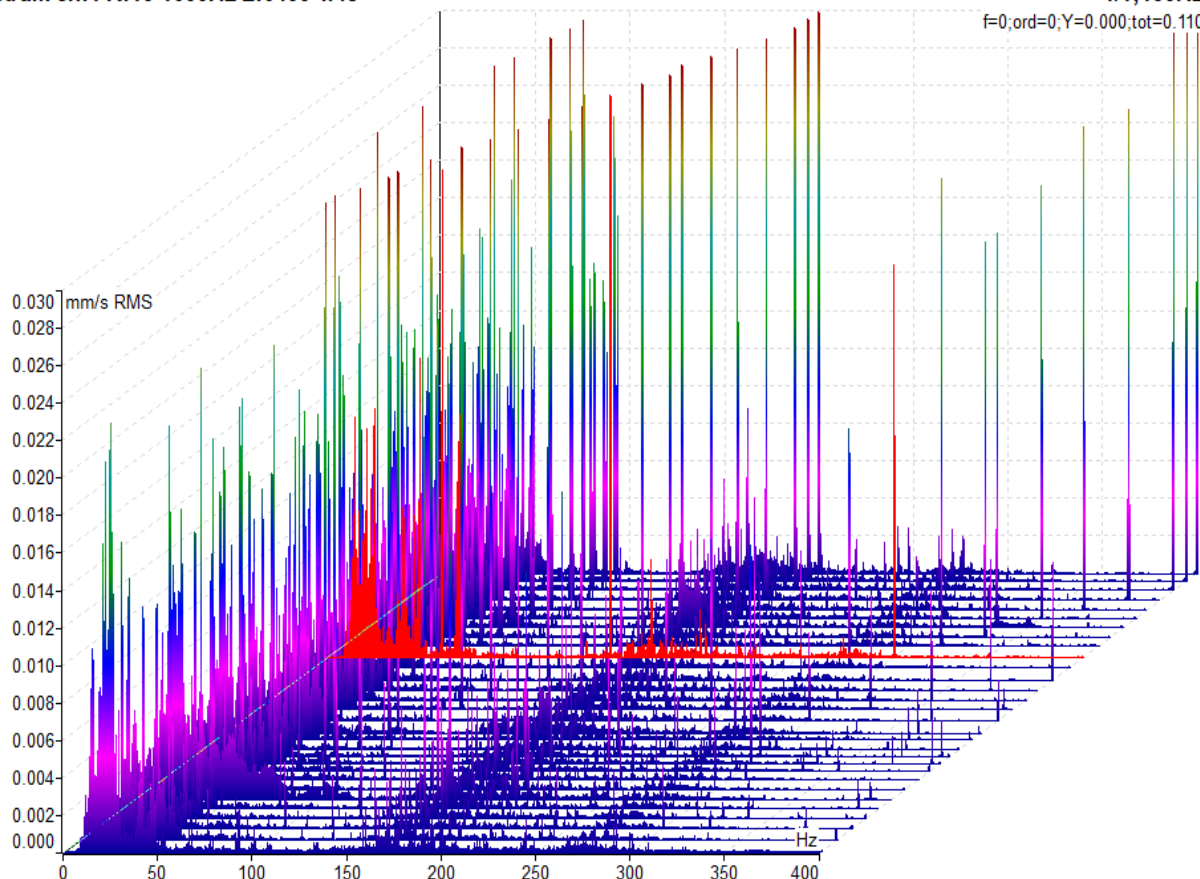
8000			9000			10000			11000			12000		
Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
0,069	0,036	0,06	0,06	0,038	0,078	0,081	0,056	0,087	0,143	0,094	0,09	0,157	0,123	0,09
0,087	0,063	0,091	0,092	0,082	0,096	0,087	0,083	0,095	0,01	0,010	0,119	0,12	0,176	0,145



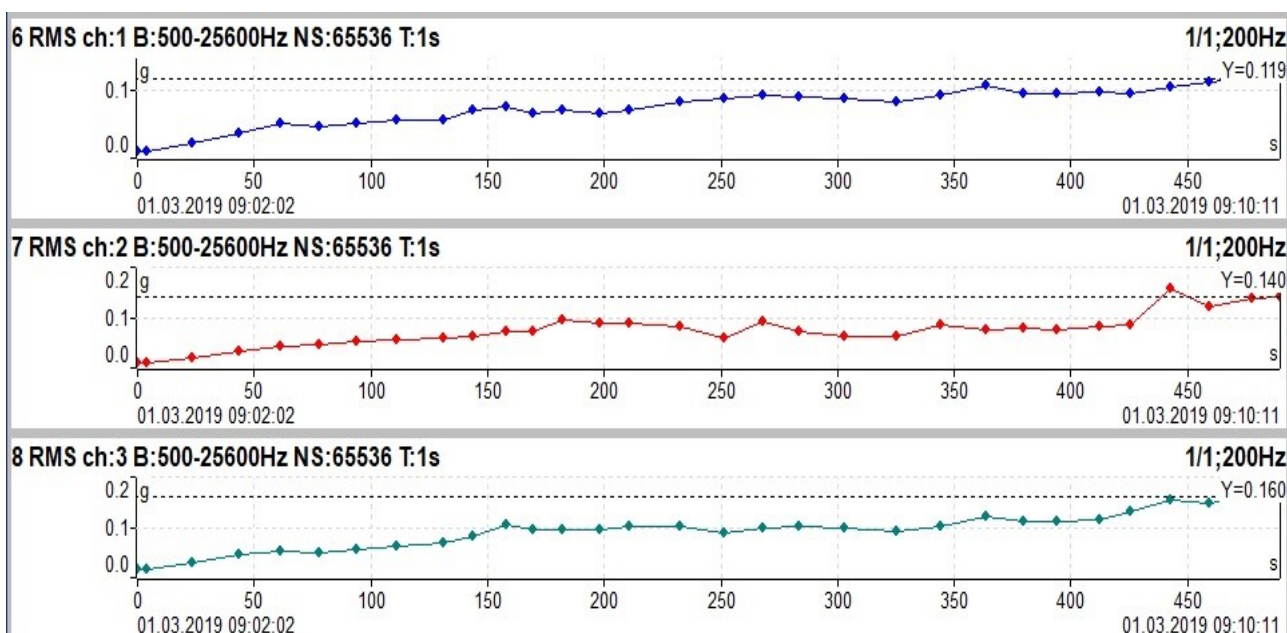
Obr.33 Trend měření rychlosti vibrací v čase měření [autor]

9 spectrum ch:1 R:10-1600Hz L:6400 T:4s

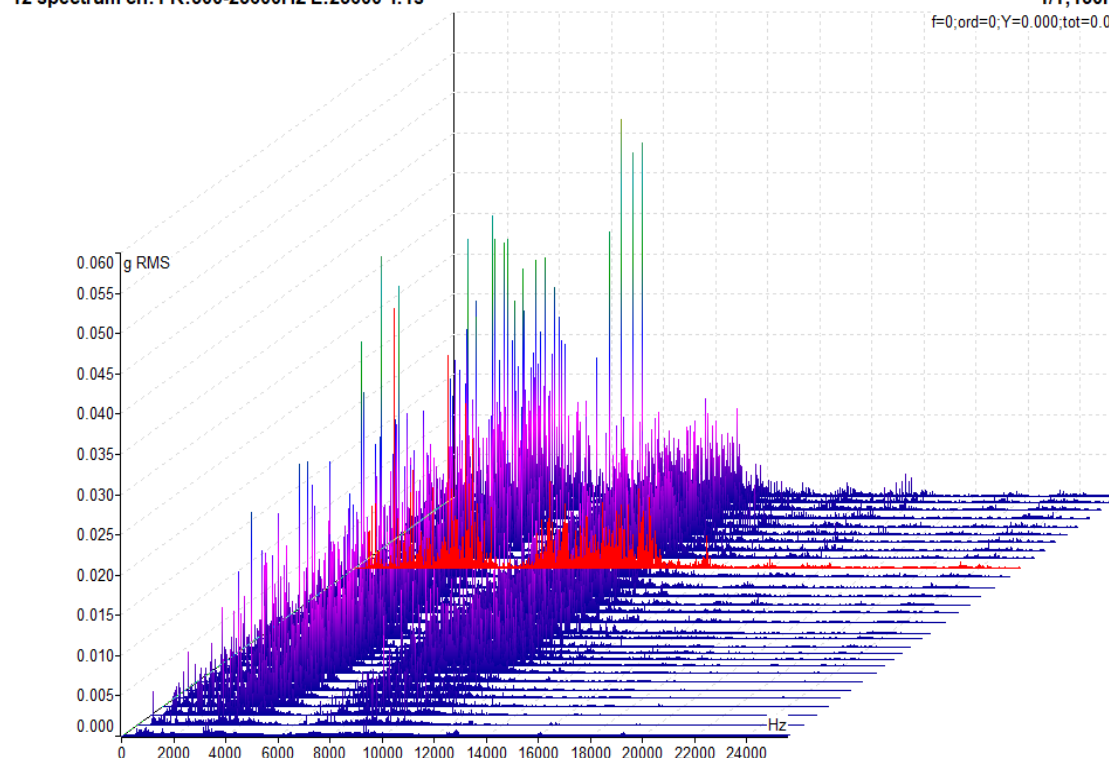
1/1;150Hz
f=0;ord=0;Y=0.000;tot=0.110



Obr.34 Spektrum rychlosti kanál č.1 [autor]



Obr.35 Trend měření zrychlení vibrací v čase měření [autor]



Obr.36 Spektrum zrychlení kanál č.1 [autor]



Obr.37 Umístění snímačů [autor]

5.3 Termodiagnostika

Při měření a vyhodnocování teploty u CNC frézky Chiron jsem se převážně soustředil na elektrické rozvody a součástky. Měření vřetene nebylo dostatečně průkazné, protože pracovní část je celá zakrytovaná a nebylo možné se k ní dostat. Měření probíhalo za plné práce stroje a vyhodnocení bylo konzultováno jednak s vedoucím práce a pak taky s interním elektronikem, který má dlouholeté zkušenosti s provozem CNC obráběcích strojů.

Pro vyhodnocování termosnímků byly vybrány tyto pásmová kritéria viz. tabulka č.20.

Tab. č.20 Kritéria pro posouzení technického stavu

Třída závažnosti	Teplotní meze [°C]	Hodnocení
A	$0 < \Delta t < 10$	Bez problémů
B	$10 < \Delta t < 30$	Vznikající problém
C	$30 < \Delta t < 90$	Naplánovat odstávku
D	$90 < \Delta t < \text{více}$	Nutnost okamžité opravy

5.3.1 Termokamera Fluke Ti32

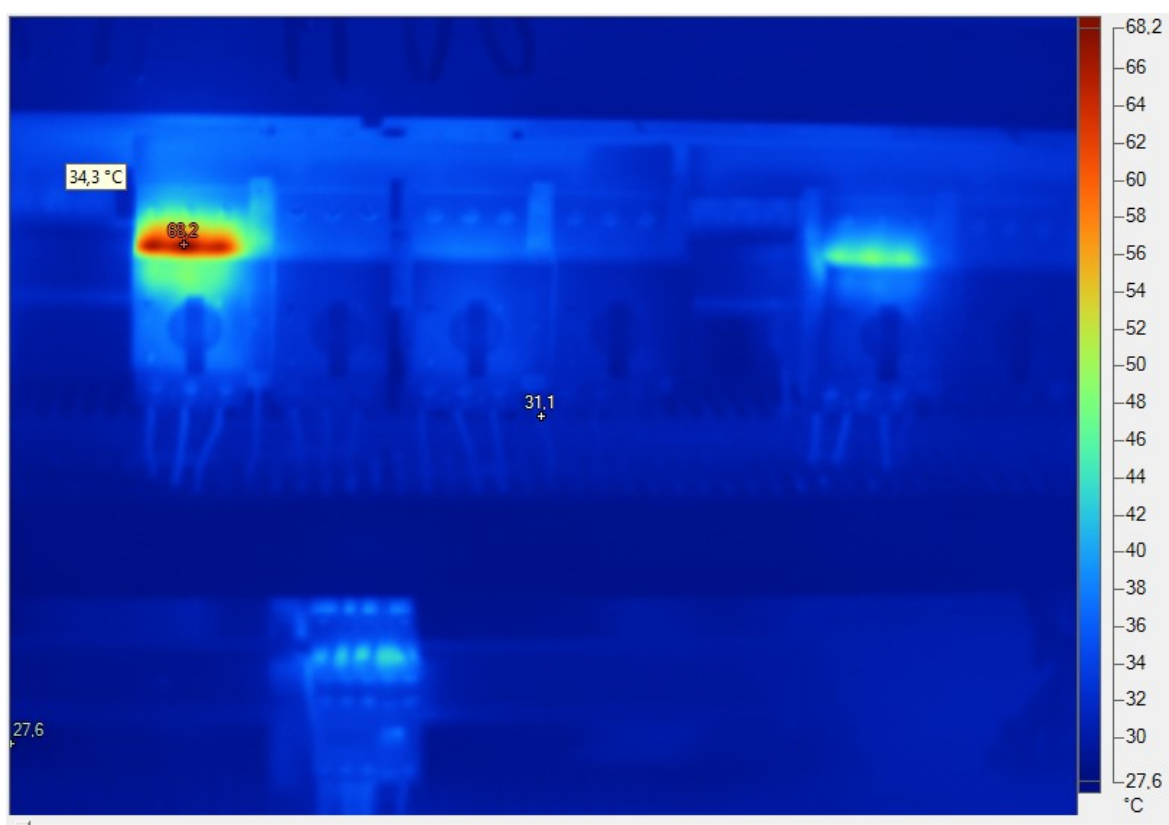
Jedná se o praktickou IR kameru, která se díky své hmotnosti a praktičnosti hodí na běžné pochůzkové měření. Navíc má tato kamera vysokou odolnost proti pádům z výšky, což její praktičnost ještě umocňuje. Obecné parametry kamery jsou v tabulce č.21.

Tab. č.21 Obecné vlastnosti kamery Ti 32

Provozní teplota	-10°C až -50°C
Relativní vlhkost	10 % až 95 %
Rozlišení snímače	320 x 240
Display	Barevný display s rozlišením (640 x 320)
Software	SmartView™ – software pro úplnou analýzu
Baterie	Dvě lithium-iontové nabíjecí baterie
Rozměry	27,7 cm x 12,2 cm x 17,0 cm (10,9" x 4,8" x 6,7")

5.3.2 Vyhodnocení měření 25.10.2018

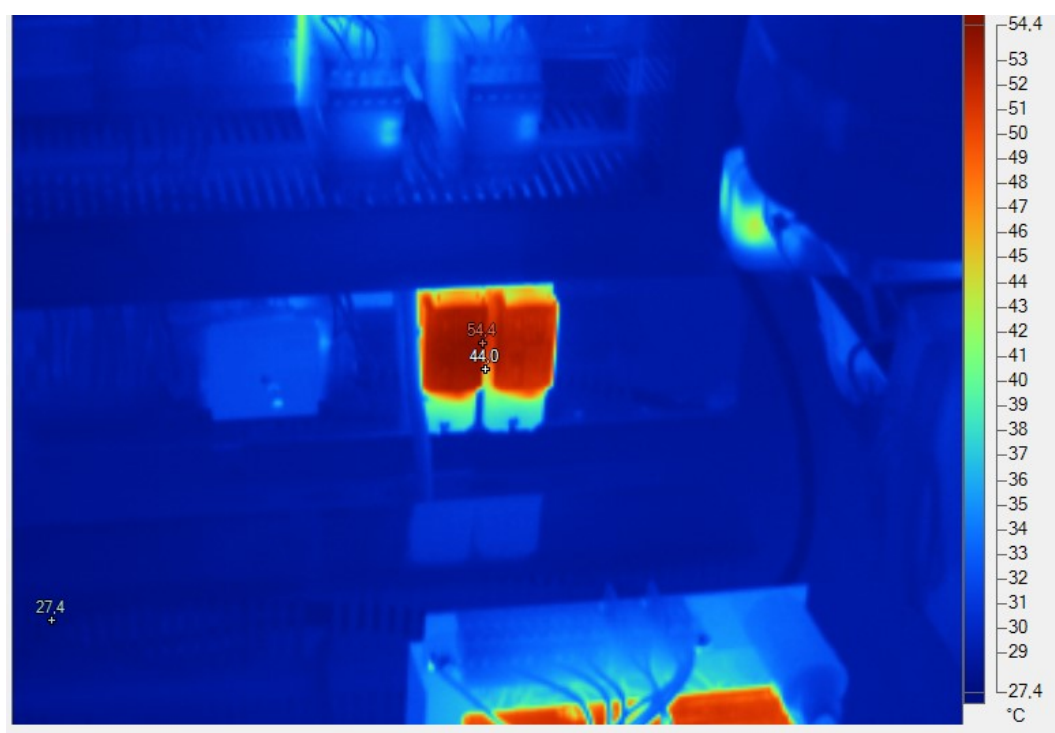
Termodiagnostické měření bylo provedeno na rozvodové skříni, kde byly sledovány jednotlivé elektronické prvky. Byly sledovány a vyhledávány možné problémy s přehřátím nebo neúměrně zvýšenou teplotou vztaženou k ostatním prvkům. Nutno zdůraznit, že všechny prvky byly ve stavu odpovídající běžnému pracovnímu režimu. Na obrázku č. 40 je vyobrazena součástka s teplotou povrchu 71,6 °C. Ačkoliv se na první pohled může zdát, že je to poměrně vysoká teplota a může evokovat problém, tak tomu tak není, protože se jedná o “spínač” vřetene, který je neustále provozně aktivní a tudíž je zvýšená teplota naprosto standardní.



$\varepsilon=0,95$

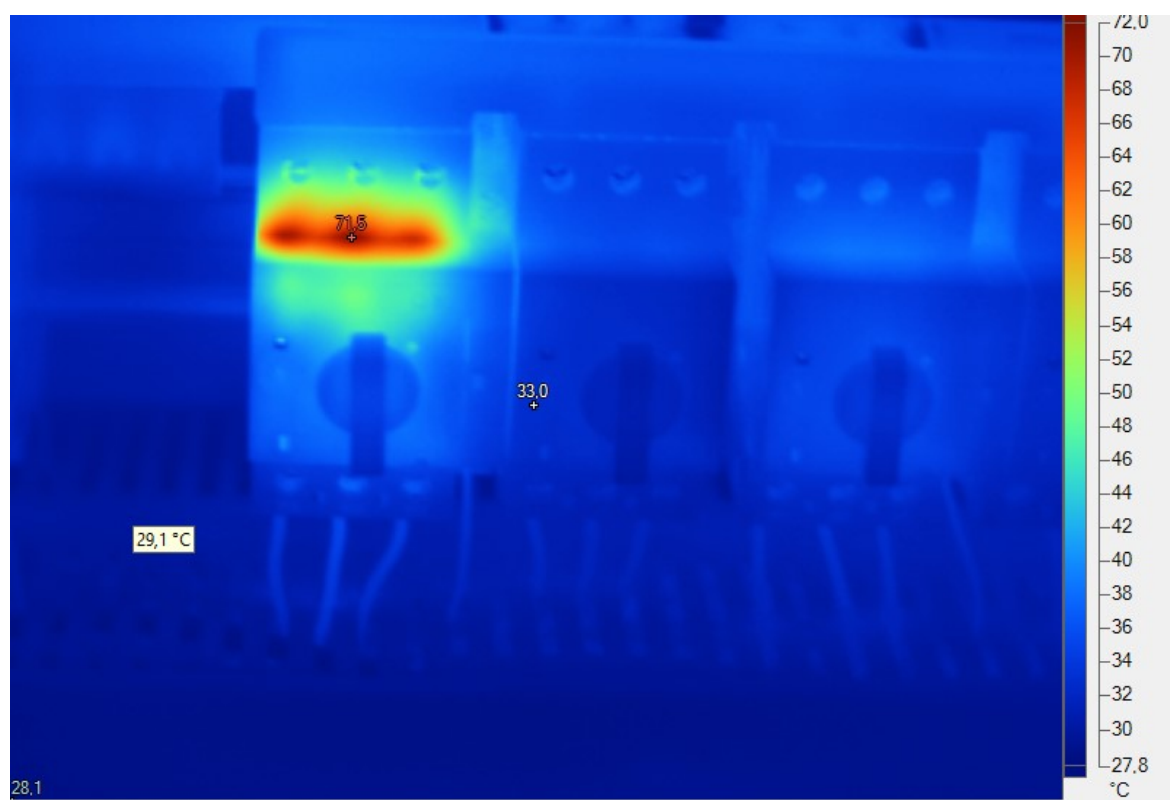
Odražená zdánlivá teplota = 28°

Obr.38 Měření elektro rozvodů ve skříni [autor]



$\varepsilon=0,95$	Odražená zdánlivá teplota = 28°
--------------------	---------------------------------

Obr.39 Měření elektro rozvodů ve skříni [autor]

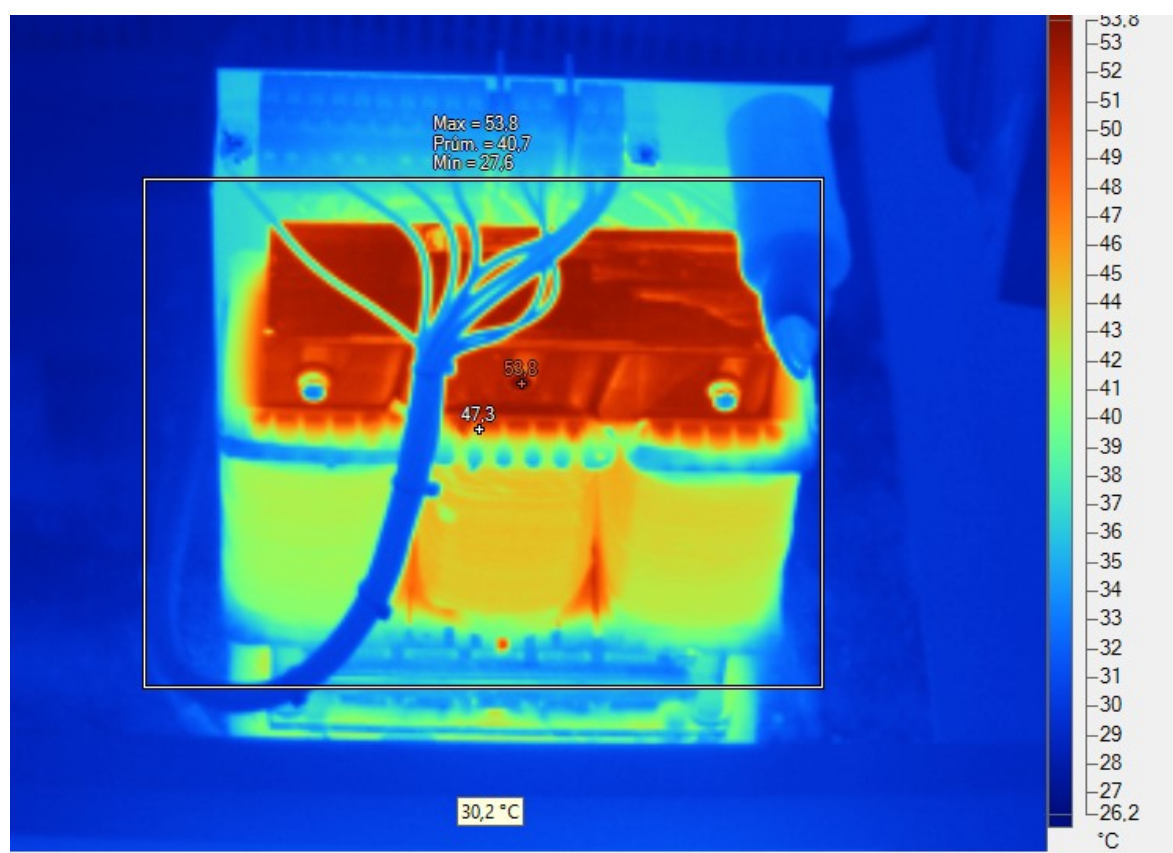


$\varepsilon=0,95$	Odražená zdánlivá teplota = 28°
--------------------	---------------------------------

Obr.40 Měření elektro rozvodů ve skříni [autor]

5.3.3 Vyhodnocení měření 1.3 2019

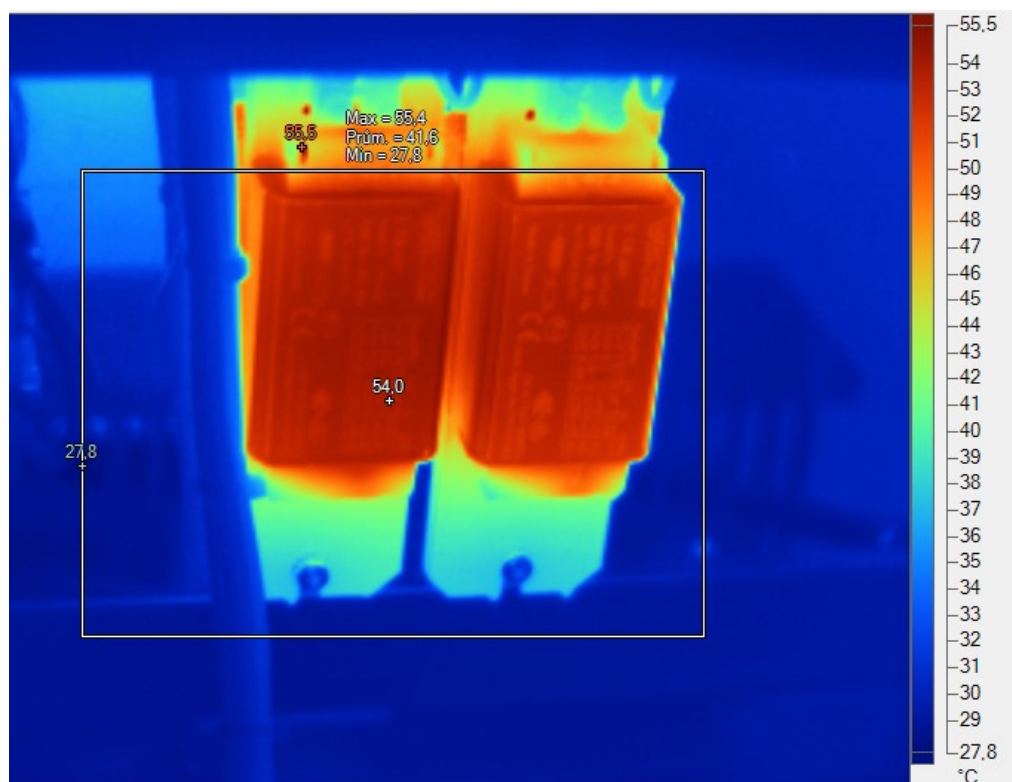
Druhé měření proběhlo za stejných podmínek, a i se stejnými výsledky. Po vyhodnocení termosnímků nebylo vydáno žádné výstražné doporučení firmě ohledně problému s elektronickými prvky. Všechny byly v přijatelných teplotních rozmezích. Při vyhodnocování je třeba i dbát na teplotu, která je ve skříni rozvaděče, protože ta mi ovlivňuje oteplení všech měřených prvků.



$\varepsilon=0,95$

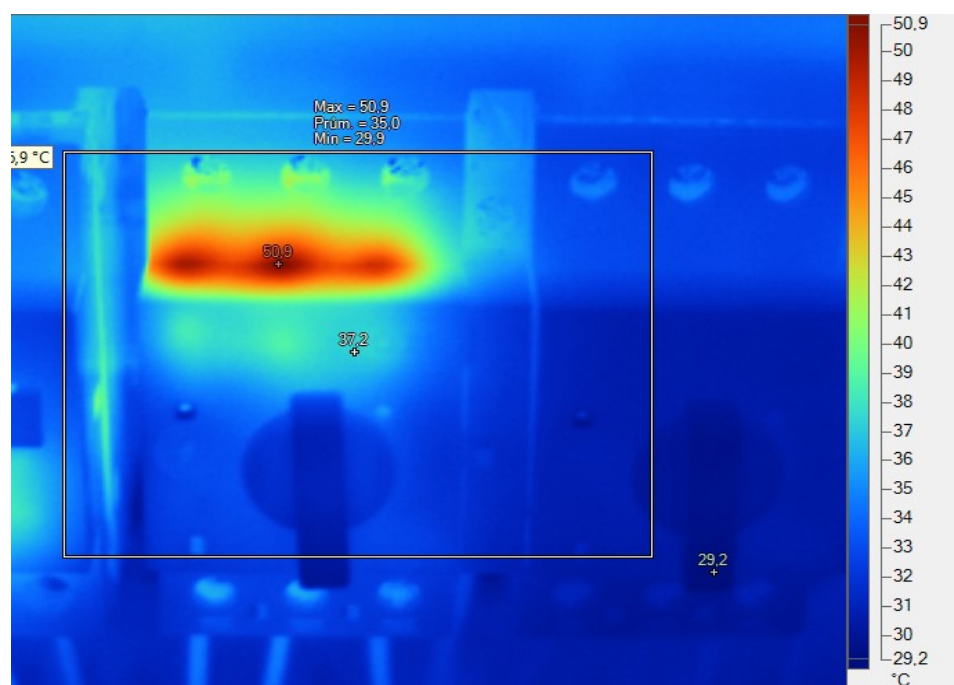
Odražená zdánlivá teplota = 28°

Obr.41 Měření elektro rozvodů ve skříni [autor]



$\varepsilon = 0,95$	Odražená zdánlivá teplota = 28°
----------------------	---------------------------------

Obr.42 Měření elektro rozvodů ve skříní [autor]



$\varepsilon=0,95$	Odražená zdánlivá teplota = 28°
--------------------	---------------------------------

Obr.43 Měření elektro rozvodů ve skříní [autor]

5.4 Diagnostika Ballbar

Pro stroj Chiron Mill 800 byla použita tato alarmová stupnice pásem.

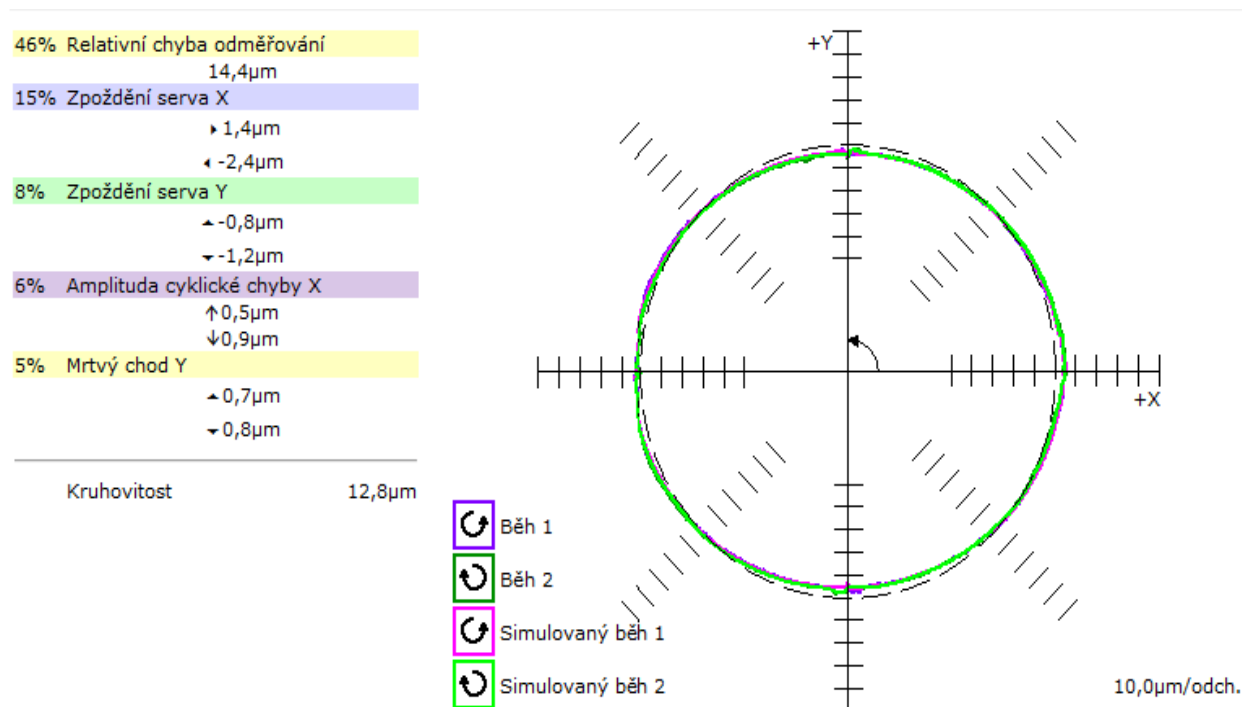
Tab. 22 Pásma měření Ballbar

A	0–10 [μm]	Stav nového stroje
B	10–30 [μm]	Možný problém.
C	30 a více [μm]	Nutno odstavit.

5.4.1 Vyhodnocení měření Ballbar 25.10 2018

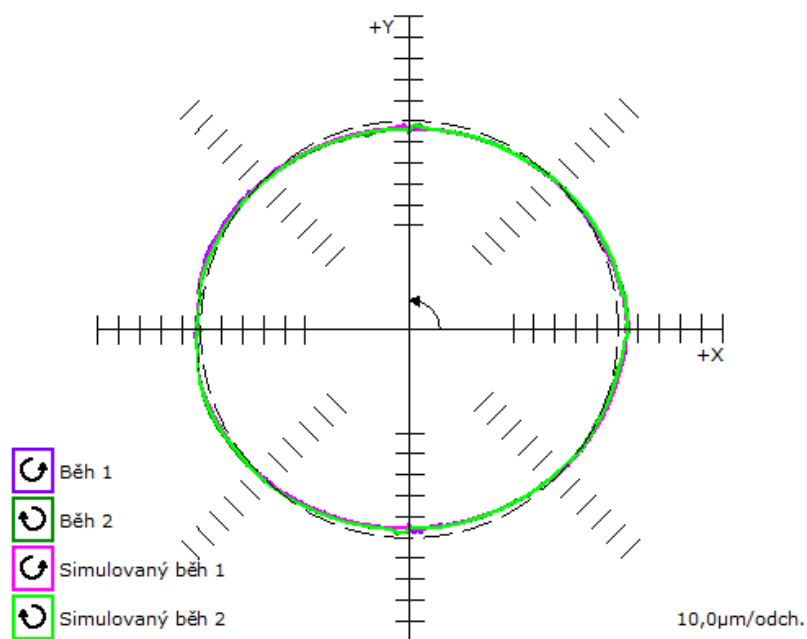
Diagnostika Ballbar neodhalila během zkoušky a následného vyhodnocení žádné závažné problémy, které by naznačovaly zhoršený technický stav stroje.

Na obrázku č. 44 je vidět mírná deformace měřené kruhové obrazce, a to při vrcholcích kladných os X a Y oproti referenci, které má tvar téměř dokonalého kruhu. Nicméně je důležité vzít v potaz to, že rozlišení je 10 μm , resp. vzdálenost mezi jednotlivými odrazkami na osách. Chyby jsou v rozmezí od 1 μm do 3 μm , což odpovídá stavu nového stroje.



Obr.44 Výsledek měření Ballbar [autor]

Mrtvý chod (μm)		
X	► -0,2	◄ 0,2
Y	► -0,7	► -0,8
Zpoždění serva (μm)		
X	► 1,4	◄ -2,4
Y	► -0,8	► -1,2
Příčná vůle (μm)		
X	► 0,5	◄ 0,1
Y	► 0,1	► -0,4
Amplituda cyklické chyby (μm)		
X	► 0,5	◄ 0,9
Y	► 0,4	◄ 0,5
Další údaje		
Neshoda serva		0,02ms
Kolmost		-7,9μm/m
Přímochařost X		-0,3μm
Přímochařost Y		-1,3μm
Relativní chyba odměřování		14,4μm
<hr/>		
Kruhovitost		12,8μm



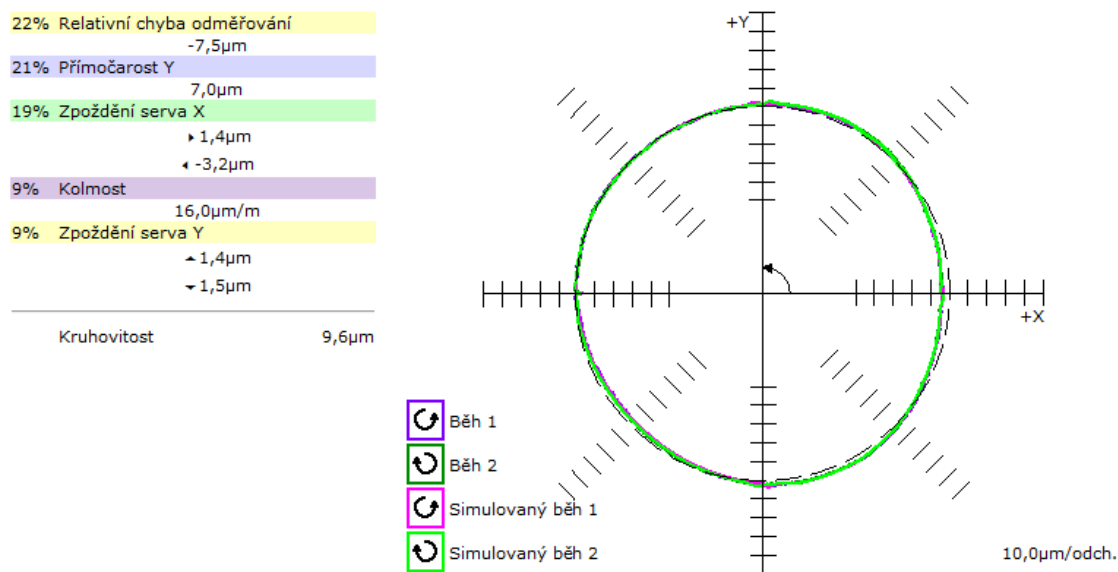
Obr.45 Výsledek měření Ballbar [autor]



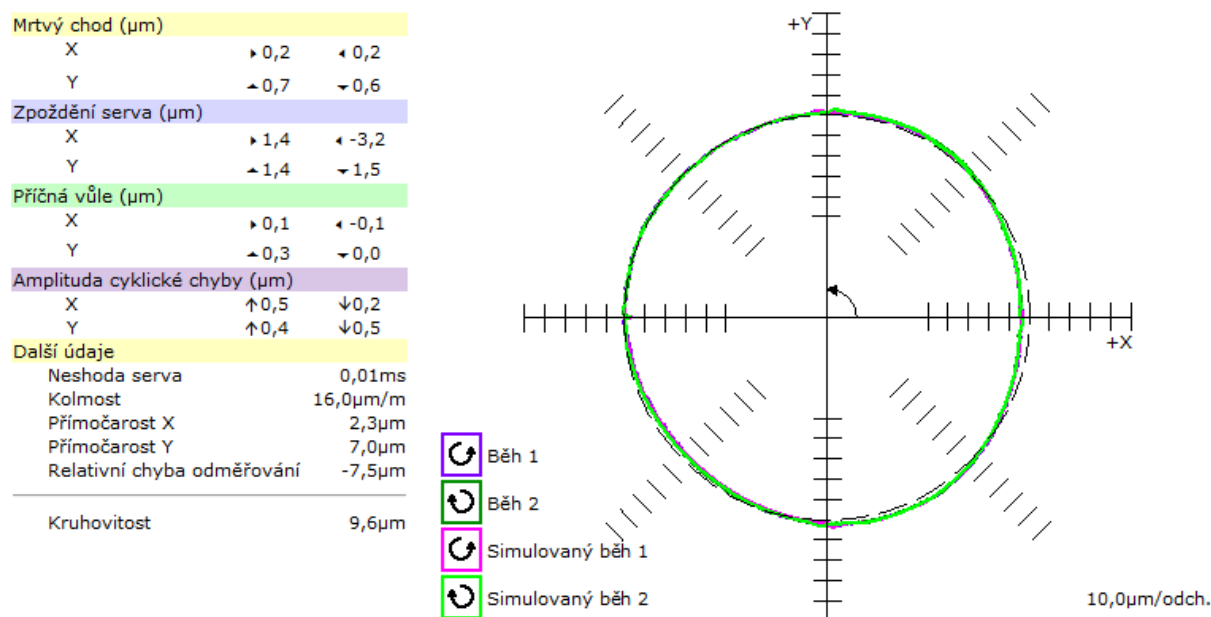
Obr.46 Upnutí měřícího přístroje Ballbar [autor]

5.4.2 Vyhodnocení měření Ballbar 1.3 2019

Druhé měření také neprokázalo žádnou závadu na vedení nebo ložiscích a stav stroje v osách X a Y odpovídá novému stroji, nicméně po provedení zkoušky na trn, byl zjištěn problém s osou Z. Tato osa vykazovala mírné vychýlení z přímočaré osy, a proto byl stroj naplánován na odstávku a údržba provedla korekci této osy. Po opravě byl stroj znovu zapojen do výrobního procesu.



Obr.47 Výsledek měření Ballbar [autor]



Obr. 48 Výsledek měření Ballbar [autor]

6 Zhodnocení údržby a doporučení pro budoucí provoz

Během vypracovávání této diplomové práce, byl hodnocen aktuální stav údržby ve vztahu k celé společnosti. Závěr, který z tohoto pozorování vychází je tento:

„Koncept současné údržby je v ohledu na neustálé navyšování výrobních strojů, a s tím spojené neúměrné zvyšování vědomostních a praktických nároků na personál údržby dlouhodobě neudržitelný.“ Pokud firma chce udržet trend kvalitní mechanické a optické výroby, kterou má na skvělé úrovni, tak bude muset v následujících letech přehodnotit roli údržby. Přehodnotit ve smyslu, aby údržba neměla status tzv. “nutné zlo“, ale aby opravdu plnila svou schopnost udržovat stroje a majetek v maximální provozní schopnosti, a byla plnohodnotným členem mezi jednotlivými částmi společnosti. To bude vyžadovat zvýšení financí, které do úseku údržby musí přijít. V současném stavu je údržba na téměř 100 % své maximální pracovní kapacity. Pro zlepšení situace by pomohlo personální rozšíření členů údržby. Údržba jako celek má pod svou správou mechanickou a optickou výrobu. Celkový počet strojů, který mají údržbáři opravovat nebo servisovat, je výrazně naddimenzován v porovnání s pracovní silou, kterou má manažer údržby k dispozici. Pro firmu i údržbu by mohla být přínosem spolupráce s externí strojařskou firmou, která má ve svém týmu odborníky na Asset maintenance management.

Další výzvou pro vedení společnosti Meopta je diagnostika strojů. V současné době firma neprovádí diagnostiku strojů, **provádí pouze monitorování technického stavu**. Diagnostika spočívá ve sběru dat, vyhodnocování těchto dat, prezentaci výsledků, analýze výsledků a vytváření preventivních přístupů, aby se zmenšovala rizika případných poruch. Pokud by ve firmě měli přejít na kompletní diagnostiku, tak by firma byla nucena provést výrazné změny v přístupu k údržbě.

- První změna je v transformaci pozice diagnostika. Diagnostik se musí plně věnovat jen čistě diagnostice a neustále si rozšiřovat vědomosti o strojích, které testuje. Aktuální status ve firmě je ten, že personál, co má za úkol provádět měření, se této činnosti věnuje ze 60 % svého pracovního času. Což není dostatečné.

- Další bod je měřicí zařízení. Ballbar je velmi významné zařízení pro diagnostiku obráběcích strojů. Co se týče měřících pomůcek pro diagnostiku kapalných maziv, tak tam zůstává otázka nad kvalitou těchto přístrojů. V podstatě jde o to, že v porovnání s kvalitou strojů, které jsou testovány, je kvalita měřících pomůcek bohužel nesrovnatelná.

Příklad: Pro analýzu vzorků hydraulického oleje byl použit v laboratoři VŠB-TU mikroskop, který odhalil značné množství mechanických nečistot o velikostech desítek mikrometrů. Meopta takovou možnost nemá, a proto technik není schopen zachytit poškození stroje v zárodku, a tím předejít možnému poruše hydrauliky.

- Přístup údržba – výroba. Zlepšení součinnosti mezi údržbou a výrobou vzhledem k odstávkám strojů.
- Unifikovat časy diagnostiky. Provádět diagnostiku TRIBO a BALLBAR v jeden čas, při jedné odstávce.
- Diagnostika vyžaduje častá školení personálu ve své odborné problematice.
- U strojů, které mají největší význam, zapojit externě i vibrační diagnostiku.

Manažer údržby by měl využít těchto norem. ČSN EN 13 306:2002 (Terminologie údržby), ČSN EN 15 341: 2011, ČSN EN 13460: 2009, EN 13269: 2006 a ČSN EN 15 628:2015.

V předchozích kapitolách si čtenář mohl prohlédnout jednotlivé metody diagnostiky, které byly aplikovány na obráběcí centrum. Velice pozitivní zjištění je to, že téměř všechny zkoušky dopadly výborně, až na oblast tribodiagnostiky. Což ovšem jde ruku v ruce se současnou situací ve firmě. Z tohoto důvodu budou v následující kapitole **6.1 Pracovní pozice tribodiagnostika** uvedeny základní pracovní povinnosti, které by měl tribodiagnostik se znalostmi tribologie provádět během své pracovní praxe, pokud má dostatečné materiálové vybavení pro svou práci.

6.1 Pracovní pozice Tribodiagnostik

Tribodiagnostik je pracovní pozice, které ve svém názvu uchovává celou řadu znalostí a dovedností, zejména TRIBOLOGIE a TRIBODIAGNOSTIKY jako celku. Tato pracovní pozice má za úkol testovat, hodnotit a udávat doporučení v problematice maziv. Diagnostik by měl být zodpovědný například za tyto činnosti v podniku:

A) TRIBODIAGNOSTIKA

- Správný odběr vzorků (jako základní předpoklad, který v diagnostice existuje, je **odebrat reprezentativní vzorek**. Pokud tohle není dodrženo, tak nemůže být měření nikdy správné a výsledky neodpovídají realitě.

Manuál pro odběr hydraulického oleje viz. kapitola **č.6.1.1 Metodický postup odběru vzorků hydraulického oleje**.

- Provádění tribodiagnostických zkoušek (zde je myšlena aplikace správných metod pro zjištění opravdového stavu maziva).
- Vyhodnocování a prezentace výsledků (nezbytnou součástí práce diagnostika je i srozumitelně prezentovat výsledky své práce vedení společnosti a dávat doporučení pro budoucí provoz).

B) TRIBOLOGIE

- Tribolog musí zodpovídat za používaná maziva, správnost těchto maziv a vhodnou aplikaci do strojů, popř. udávat školení a doporučení zodpovědným osobám, které mají za úkol dolévání kapalných maziv do strojů, nebo doplňování plastických maziv – zde bych vyzdvihnul význam kompatibility jednotlivých částí plastického maziva (základní olejová složka, zpevňovadlo a aditiva).
- Další pracovní bod jsou mazací plány (tvorba mazacích plánů, domazávacích intervalů, spolupráce na tvorbě TPM (Total Productive Maintenance), apod.).

6.1.1 Metodický postup odběru vzorků hydraulického oleje

Pomůcky: Odběrová pumpa s odběrovou hadicí, laboratorní vzorkovnice, pomůcky na očištění odběrového místa (štětec, ruční smeták, atd), pomůcky na demontáž a montáž ochranného krytu.

- 1) Základní vizuální kontrola stroje (stav maziva, množství maziva, kontrola úniku maziva na pracovní podlahu). Zjištění délky provozu stroje (**stroj musí být minimálně 30 minut v plném pracovním provozu**).
- 2) Odmontování ochranného krytu nádrže maziva.

- 3) Očištění prostoru okolo víka nádrže s hydraulickým olejem, zejména pak ocelové třísky (štětec, ruční smeták). Dále očištění zbytku nečistot za pomoci čisté pracovní hadry.
- 4) Odšroubování víka od nádrže a ochranného sítko proti vniknutí nečistot.
- 5) Uchycení vzorkovnice do závitu odběrové pumpy. Nasazení odběrové hadice do pumpy.
- 6) Dle velikosti olejové nádrže volit hloubku ponoření odběrové hadice tak, aby byla vždy ve stejné hloubce. Hadici umisťovat do poloviny nádrže.
- 7) Natažení oleje do vzorkovnice. Doporučené množství je 250–300 ml oleje.
- 8) Po odběru uzavření nádrže a nasazení ochranného víka. V případě potřísnění uklidit podlahu.
- 9) Popis vzorkovnice dle zásad tribodiagnostiky.

6.2 Návrh budoucí strojní diagnostiky ve firmě Meopta

Jak je patrné z předchozího textu, tak Reengineering údržby je nutný proces, kterým by si firma měla v co nejbližší době projít. V následujícím textu bude naznačen určitý směr, kterým by se firma měla vydat, a to buď:

A) Autonomní diagnostika s podporou outsourcingu

B) Kompletní interní diagnostika

A) Autonomní diagnostika s podporou outsourcingu

Co se týče financí, tak tohle je ta levnější varianta. Prakticky vychází z toho předpokladu, že firma má do určité míry fungující diagnostiku a potřebuje ji doplnit jinou metodou, na kterou nemá personální ani přístrojové kapacity. Pro Meoptu by tohle bylo naprosto dostačující. Hlavní úkol by byl v tréninku personálu. Příprava vědomostní a praktická na samostatnou práci diagnostika.

Oblast tribodiagnostiky, co se týče školení a případných konzultací, zastupuje v České republice Asociace technických diagnostiků, která zastřešuje akreditaci diagnostiky v ČR. Tato asociace zajišťuje i certifikaci osob v daných odvětvích diagnostiky.

Kombinace tribodiagnostiky a testování Ballbarem, které by si firma dělala sama, může velmi výhodně podpořit externí vibrační diagnostikou, a to buď měřenou po určitých intervalech (pochůzková) nebo využití online sledovacího systému, který má samozřejmě vyšší cenu, ale zákazníkovi přináší okamžité informace ohledně stavu jeho stroje. Vzhledem k počtu výrobních strojů bych doporučil vybrat určitý počet strojů, které jsou pro výrobu nepostradatelné a jejich porucha přináší největší finanční ztráty. Na těchto strojích aplikovat zmíněnou metodu po určitou dobu, a poté ekonomicky vyhodnotit, jaký přínos tato činnost má.

Z pohledu manažera údržby se jedná o to, že bude mít trendové informace ohledně aktuálního stavu stroje a bude moci plánovat odstávky, nákup nových komponentů, úkolování personálu údržby apod.

B) Kompletní interní diagnostika

Tato možnost by byla poměrně nákladná a firma by musela vynaložit značné úsilí na aplikování tohoto druhu diagnostiky. Jedná se o diagnostické oddělení, které má hlavního diagnostika a ten vede tým lidí, kteří sbírají informace a následně je vyhodnocují. Je to ve své podstatě totálně prediktivní údržba. Nicméně, jak už bylo zmíněno, tak je finančně velice nákladná a výsledky se dostaví až po nějaké době.

Zde bych se chtěl ještě pozastavit u zmíněného diagnostického oddělení. Vedoucím takového typu projektu musí být zkušený diagnostik, který má praxi v multiparametrické diagnostice, a ten by si měl dle svých zkušeností vybrat nejlepší tým lidí. Zaučení nového zaměstnance na pozici samostatného diagnostika vyžaduje mnoho času, a to například 10 až 12 měsíců. Proto zmiňuji onu dlouhou dobu pro zavedení tohoto oddělení do praxe. Jako nejlepší způsob se mi jeví navázání spolupráce s externí firmou, která má zkušenosti v oboru a byla by schopna značně vypomoci při zaučování nového personálu do praxe. Další zmiňovaný parametr jsou náklady. Zakoupení základních přístrojů do TRIBO laboratoře by firmu vyšlo minimálně na 500 000 Kč, ovšem vzhledem k množství strojů, které obsahují hydraulický systém se tato investice jeví jako užitečná.

7 Závěr

Tato závěrečná práce popisuje, jak efektivně kombinovat metody technické diagnostiky. V této práci byly využity čtyři metody technické diagnostiky pro posouzení aktuálního stavu obráběcího centra. Práce byla vypracovávána ve spolupráci s firmou Meopta-optika. Je koncipovaná do tří základních částí. V první jsem popsal základní teorii jednotlivých metod. V druhé části jsou tyto jednotlivé metody aplikovány. Poté je podáno stanovisko o aktuálním technickém stavu dle dané metody. Jediný problém vznikl u tribodiagnostiky.

V poslední části jsem se věnoval zhodnocení údržby jako celku. Jakou má pozici ve firmě, identifikoval jsem hlavní problémy a navrhnul jejich řešení. Kapitola č. 6 obsahuje celou řadu těchto doporučení vztažených na budoucí řízení údržby. Je zde také naznačena role tribodiagnostika a popsány základní pracovní úkony, které by měl během výkonu své praxe vykonávat a zajišťovat.

V kapitole č. **6.2 Návrh budoucí strojní diagnostiky ve firmě Meopta** jsem nastínil, jakým směrem by se firma mohla v rámci zkvalitnění diagnostiky a celkové údržby vydat. Je důležité zdůraznit, že reengineering údržby je věc složitá, potřebuje důkladnou analýzu a vyhodnocení. A také potřebuje jednu z nejdůležitějších věcí, a to je kvalitní vize podniku, jak by měla údržba vypadat a podle toho by se měl reengineering tvořit. Údržba nevydělává peníze aktivně, jako například výroba. Údržba spoří peníze a prodlužuje životnost a provozuschopnost výroby. Čím kvalitnější je údržba, tím se zvyšuje efektivita výroby a životnost strojů.

8 Zdroje

- [1] O nás. *Meopta.com* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.meopta.com/cz/o-nas/>
- [2] BPK-3. In: *Meopta.com* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.meopta.com/cz/bpk-3-/>
- [3] Logo Meopta JPEG. In: *Meopta.com* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.meopta.com/cz/ke-stazeni/>
- [4] Meorange. In: *Meoptasportoptics.com* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.meoptasportoptics.com/shop/cz/meorange-10x42-hd/meorange-10x42-hd/ctgBcz.html>
- [5] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*, vydala VŠB – Technická univerzita Ostrava 2004, 178 s., ISBN 80-248-0650-9
- [6] BLATA, J., JURASZEK, J., *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2013, 130 s., 1. vydání ISBN 978-80-248-2997-5
- [7] BILOŠ J., BILOŠOVA A., *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: část Vibrační diagnostika*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2012, 142 s, 1 vydání ISBN
- [8] HELEBRANT, F, ZIEGLER, J A MARASOVÁ, D *Technická diagnostika a spolehlivost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001, 155 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [9] PARAMO KONKOR. *Eshop.paramo.cz* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti_paramo_hm_z5.pdf
- [10] HELEBRANT, František, BLATA, J, HRABEC, L, *Provoz, diagnostika a údržba strojů*, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, ISBN 978-80-248-3028-5
- [11] *Termovizní měření - teorie* [online]. [cit. 2017-25-04]. Dostupné z: <http://www.termovize.com/termovizni-mereni-teorie>
- [12] Obráběcí centrum - 5 osé Chiron MILL 800 5 axis. EXAPRO.CZ [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/obrabeci-centrum-5-ose-chiron-mill-800-5-axis-p71108146/?exaspot=1>
- [13] Marek, J. a O, UČEŇ. **CNC obráběcí stroje**. 1 vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4.

[14] ČSN 20 0065. *Obráběcí stroje na kovy. Metody měření a hodnocení mechanického kmitání. Mezní hodnoty kmitání.* Praha: Český normalizační institut, 1992

[15] ČSN 20 816 -1. *Měření a hodnocení vibrací strojů – Část 1: Obecné pokyny.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017

9 Přílohy

9.1 Příloha č.1 Protokol o měření hydraulického oleje

Strojní zařízení			VZOREK			
Hydraulický olej č.1			Číslo	1		
			Typ oleje	Hydraulický		
			Název	HM 46		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN			
Název	Vzorek č.1		Specifikace ISO			
Typ-číslo stroje	Chiron Mill 800		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulika		Místo odběru	Ventil		
Množství provozní náplně	16 l		Dodal:	Chalánek		
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování	25.10.2018		
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	43,06
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,6	0,8	0,39
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,001
Kód čistoty		ČSN ISO 4406		21/18/15		16/15/13
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	40	9,7
obsah Cu				20	30	34,8
obsah Cr				12,5	15	7,4
obsah Sn					15	3
obsah Si					25	1
Aditiva, degradace				hodnota		
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				7390
obsah P						435,5
obsah Na						1502
obsah Zn						381,1
obsah Ca						11,9

9.2 Příloha č.2 Protokol o měření hydraulického oleje

Strojní zařízení			VZOREK			
Hydraulický olej č.2			Číslo	2		
			Typ oleje	Hydraulický		
			Název	HM 46		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN			
Název	Vzorek č.2	Specifikace ISO				
Typ-číslo stroje	Chiron Mill 800	Specifikace SAE				
výrobní číslo		Jiná specifikace				
Strojní uzel	Hydraulika	Místo odběru	Ventil			
Množství provozní náplně	16l	Dodal:	Chalánek			
Doba provozu od posl. výměny		Datum převzetí				
Doba provozu celkem		navážka fitru (ml)				
V průběhu provozu doplněno		Datum vypracování	18.12.2018			
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	43,2
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,6	0,8	0,3
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,002
Kód čistoty		ČSN ISO 4406		21/18/15		15/14/12
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	40	15,5
obsah Cu				20	30	23,9
obsah Cr				12,5	15	7,2
obsah Sn					15	3
obsah Si					25	1
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			4052	
obsah P					662,8	
obsah Na					1928	
obsah Zn					598,9	
obsah Ca					10	

9.3 Příloha č.3 Protokol o měření hydraulického oleje

Strojní zařízení			VZOREK			
Hydraulický olej č.3			Číslo	3		
			Typ oleje	Hydraulický		
			Název	HM 46		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN			
Název	Vzorek č.3		Specifikace ISO			
Typ-číslo stroje	Chiron Mill 800		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel	Hydraulika		Místo odběru	Ventil		
Množství provozní náplně	16l		Dodal:	Chalánek		
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování	1.3.2019		
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	44,1
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,6	0,8	0,32
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,003
Kód čistoty		ČSN ISO 4406		21/18/15		15/14/13
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm	metodika		20	40	1
obsah Cu	(mg/kg)			20	30	34,3
obsah Cr				12,5	15	9,6
obsah Sn					15	3
obsah Si				20	25	1
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm	metodika			7390	
obsah P	(mg/kg)				435,5	
obsah Na					1502	
obsah Zn					381,1	
obsah Ca					11,9	

9.4 Příloha č.4 Technický list oleje HM 46 Paramo [9]

PARAMO

Technické informace

PARAMO HM

ISO VG 10, 22, 32, 46, 68, 100

HYDRAULICKÝ OLEJ

Popis:

Výrobky skupiny PARAMO HM jsou vysoce kvalitní hydraulické oleje kategorie HM. Jsou vyrobeny z hluboce rafinovaných základových olejů, které jsou zušlechťeny účinnými přísadami proti oxidaci, korozi, opotřebení, pění a dále přísadami ke zlepšení nízkoteplotních vlastností.

Užití:

Jsou určeny především pro hydrostatické hydraulické mechanismy, zejména vysokotlaké, vybavené hydrogenerátory s vysokými požadavky na protiotěrový účinek oleje (lamelové, axiální a radiální pístové) a náročnými na jeho termooxidační stálost. Jsou vhodné i pro mobilní hydrauliky pracující celoročně v nechráněném prostředí a mohou být použity i k mazání namáhaných oběhových soustav, ozubených převodů aj. Často se využívají i k mazání pohyblivých dilů pomocí tzv. "olejové mlhy".

Klasifikace, specifikace:

ISO 6743/4 HM

DIN 51 502 H

DIN 51 524 část 2 HLP

Odpovídá:

U.S. STEEL 126, 127

Sperry Vickers I-286-S

AFNOR NF E 48-603(HM)

CETOP RP 91H (HM)

HOESCH HWN 2333, Thyssen TH N-256 132

Denison Filterability TP 02100, SEB 181222

Charakteristické vlastnosti:

- výborně chrání mazané soustavy proti opotřebení
- vynikající protikorozi vlastnosti
- výborná odolnost proti oxidaci je zárukou velmi dlouhé životnosti
- nepůsobí agresivně na elastomery, s nimiž přicházejí do styku
- velmi dobře odlučují vzduch a mají velmi dobrou schopnost odolávat tvorbě trvalé emulze
- minimální tendence k tvorbě pěny
- velmi dobrý průběh viskozity v závislosti na změnách teploty
- mají dobrou filtrovatelnost

Charakteristické parametry:

Parametr	Jednotka	Hodnota			Norma
		HM 46	HM 68	HM 100	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	48,48	69,34	100,40	ČSN EN ISO 3104
Bod vzplanutí OK	°C	220	250	268	ČSN EN ISO 2592
Bod tekutosti	°C	-27	-27	-24	ČSN ISO 3016
Deem.char. /54°C/ čas	min.	10	10	15	ČSN ISO 6614
Hustota při 15°C	kg/m ³	876	879	883	ČSN EN ISO 12185

Hodnoty v tabulce jsou hodnotami typickými pro současnou produkci. Závazné parametry a další informace o výrobku jsou obsaženy v TN 23-148 PARAMO, a.s., a v bezpečnostním listu.

Výrobky PARAMO HM 22, HM 32, HM 46, HM 68 a HM 100 nejsou klasifikovány jako **nebezpečné** podle Nařízení EP a Rady č. 1272/2008 (CLP). Bližší informace jsou uvedeny v aktuálním BL na www.mogul.cz.

Výrobek PARAMO HM 10 je klasifikován jako **nebezpečný** podle Nařízení EP a Rady č. 1272/2008 (CLP). Bližší informace jsou uvedeny v aktuálním BL na www.mogul.cz.